

**DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA RESIDUAL PROMEDIO (ANÁLISIS  
POST- FISURACIÓN) DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA SINTETICA  
DE PET+PP.**

**DIEGO ALEXANDER TORRES**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
OFICINA DE POSGRADOS  
PROGRAMA ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERIA DE PAVIMENTOS  
BOGOTA  
2017**

**DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA RESIDUAL PROMEDIO (ANÁLISIS  
POST- FISURACIÓN) DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA SINTETICA  
DE PET+PP.**

**DIEGO ALEXANDER TORRES**

**Trabajo de grado para optar al título de Especialista en Ingeniería de  
Pavimentos**

**Director  
JUAN CARLOS ROUGE  
Ingeniero Civil, Esp. Msc**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
OFICINA DE POSGRADOS  
PROGRAMA ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERIA DE PAVIMENTOS  
BOGOTA  
2017**



La presente obra está bajo una licencia:  
**Atribución 2.5 Colombia (CC BY 2.5)**  
Para leer el texto completo de la licencia, visita:  
<http://creativecommons.org/licenses/by/2.5/co/>

**Usted es libre de:**

- Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
- hacer obras derivadas
- hacer un uso comercial de esta obra



**Bajo las condiciones siguientes:**



**Atribución** — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).

**Nota de Aceptación**

---

---

---

---

---

---

**Firma del president del jurado**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

**Bogotá 2 de Diciembre, 2017**



## TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS .....	7
LISTA DE FIGURAS .....	8
FICHA TÉCNICA .....	11
1 INTRODUCCIÓN .....	12
2 ANTECEDENTES .....	13
3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	13
3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	13
3.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	14
4 OBJETIVOS .....	14
4.1 OBJETIVO GENERAL .....	14
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
5 JUSTIFICACIÓN .....	15
6 ALCANCE .....	15
7 MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	16
7.1 ANTECEDENTES DE MACROFIBRAS.....	16
7.2 HISTORIA DE LA FIBRA DE PET (POLIETILENO TERAFTALATO). ....	18
7.3 DEFINICIÓN DE MACROFIBRAS PARA EL CONCRETO .....	20
7.4 APOORTE RESISTENTE DE LAS MACROFIBRAS AL CONCRETO.....	20
7.5 TIPOS DE FIBRAS .....	21
7.6 MACROFIBRAS SINTÉTICAS USADAS EN ESTE PROYECTO. ....	23
7.7 VENTAJAS TÉCNICAS DE USAR MACROFIBRAS SINTÉTICA EN EL CONCRETO.....	26
7.8 APLICACIONES DE LA MACROFIBRA .....	27
7.9 CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS .....	28
7.10 APORTES DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS EN LOS ENSAYOS DE COMPRESION Y FLEXIÓN.....	29
7.10.1 COMPRESIÓN .....	29
7.10.2 FLEXIÓN.....	30
7.11 MARCO NORMATIVO ACTUAL PARA EVALUACIÓN DE LOS CONCRETOS REFORZADOS CON FIBRA.....	31
7.12 PRINCIPALES PROPIEDADES QUE MEJORA LA FIBRA EN EL CONCRETO.....	33
7.12.1 TENACIDAD. ....	33
7.12.2 ESFUERZO RESIDUAL .....	34
8 METODOLOGÍA.....	35
8.1 TIPO DE ESTUDIO.....	35
8.2 FUENTES DE INFORMACIÓN.....	36

8.3	DIAGRAMA DE PROCESO.....	37
8.4	PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO NTC 5981 (ASTM C1399). ....	38
8.4.1	ALCANCE.....	38
8.4.2	QUE ES RESISTENCIA RESIDUAL .....	38
8.4.3	ESQUEMA DEL ENSAYO.....	39
8.5	PROCEDIMIENTO DEL PROCESO.....	44
8.5.1	GRANULOMETRÍA DEL MATERIAL .....	44
8.5.2	CONFIRMACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA.....	47
8.5.3	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS.....	49
8.5.4	DISEÑO DE MEZCLA .....	50
8.5.5	FABRICACIÓN DE VIGUETAS .....	52
8.5.6	EJECUCIÓN DEL ENSAYO .....	54
8.5.7	CONFIGURACIÓN DE VIGAS .....	55
8.5.8	RESULTADOS OBTENIDOS .....	55
8.5.9	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	68
9	CONCLUSIONES.....	73
10	RECOMENDACIONES.....	75
11	BIBLIOGRAFÍA. ....	76
12	ANEXOS. ....	77

## LISTA DE TABLAS

	PÁGINA
Tabla 1. Compilación de propiedades mecánicas de fibras usadas comúnmente en materiales concretos	21
Tabla 2. Cuadro de propiedades mecánicas y físicas de la macrofibra FIBRAPLAS CONCRETE	23
Tabla 3. Granulometría de la grava.	45
Tabla 4. Granulometría de la arena.	46
Tabla 5. Características físicas de la grava.	47
Tabla 6. Características físicas de la arena.	48
Tabla 7. Datos para diseño de mezcla.	48
Tabla 8. Diseño definitivo de mezcla.	49
Tabla 9. Cálculo del volumen unitario de concreto para diseño.	49
Tabla 10. Cuadro de vigas.	53
Tabla 11. Cuadro de resultados viga 15-15A.	54
Tabla 12. Cuadro de resultados viga 15-15B.	55
Tabla 13. Cuadro de resultados viga 15-15C.	56
Tabla 14. Cuadro de resultados viga 15-16A.	57
Tabla 15. Cuadro de resultados viga 15-16B.	58
Tabla 16. Cuadro de resultados viga 15-16C.	59
Tabla 17. Cuadro de resultados viga 15-17A.	60
Tabla 18. Cuadro de resultados viga 15-17B.	61
Tabla 19. Cuadro de resultados viga 15-17C.	62
Tabla 20. Cuadro de resultados viga 15-18A.	63
Tabla 21. Cuadro de resultados viga 15-18B.	64
Tabla 22. Cuadro de resultados viga 15-18B.	65
Tabla 23. Cuadro cargas por deformación de vigas testigo (sin fibra).	66
Tabla 24. Cuadro cargas por deformación de vigas con dosis 2 Kg/m <sup>3</sup> de fibra.	66
Tabla 25. Cuadro cargas por deformación de vigas con dosis 3 Kg/m <sup>3</sup> de fibra.	66
Tabla 26. Cuadro cargas por deformación de vigas con dosis 4 Kg/m <sup>3</sup> de fibra.	66
Tabla 27. Cuadro de resultados carga vs deformación promedio de vigas reforzadas con dosis de fibra de 2, 3 y 4 Kg/m <sup>3</sup> .	68
Tabla 28. Cuadro de resultados de ARS (Average Residual Strength) (Resistencia residual promedio) de vigas sin fibra y con dosis de fibra de 2, 3 y 4 Kg/m <sup>3</sup> .	69
Tabla 29. Cuadro de resultados promedio de ARS (Average Residual Strength) (Resistencia residual promedio) de vigas sin fibra y con dosis de fibra de 2, 3 y 4 Kg/m <sup>3</sup> .	70

## LISTA DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1. Bloque de adobe reforzado con fibra de coco	15
Figura 2 Representación química del poliéster termoplástico común.	17
Figura 3 Representación de esfuerzos actuantes entre fibra y concreto.	18
Figura 4 Diagrama de esfuerzos actuantes entre fibra y de concreto con fisura	19
Figura 5 Imagen de la macrofibra FIBRAPLAS CONCRETE usada en el proyecto.	22
Figura 6 Curva Carga-Deflexión del comportamiento de un concreto sin refuerzo y reforzado con macrofibras.	25
Figura 7. Comportamiento del concreto reforzado con fibras a compresión.	27
Figura 8. Comportamiento del concreto reforzado con fibras a flexión.	28
Figura 9. Fuentes de información teóricas para el desarrollo.	34
Figura 10. Diagrama de proceso.	35
Figura 11. Imagen de fisura donde revela las fibras como refuerzo .	36
Figura 12. Esquema del posicionamiento de la viga en el ensayo.	37
Figura 13. Esquema equipo de montaje ASTM C78 con viga de concreto.	38
Figura 14. Esquema de la colocacion de platina de acero bajo viga de concreto.	39
Figura 15. Esquema de la colocacion de deformímetros sobre viga de concreto.	39
Figura 16. Esquema de fisuración controlada en la viga de concreto.	39
Figura 17. Esquema de retirado de deformímetros sobre viga de concreto.	40
Figura 18. Esquema de retirado de platina bajo viga de concreto.	40
Figura 19. Esquema de aplicación de recarga sobre viga de concreto fisurada.	41

---

Figura 20. Gráfico carga vs deformación final de la carga inicial y recarga.	41
Figura 11. Imagen escaneada de la granulometría grava de la cantera Saldaña	42
Figura 12. Imagen escaneada de la granulometría arena de la cantera Saldaña	43
Figura 13. Fotografía agregado grueso	44
Figura 14. Fotografía agregado fino.	44
Figura 15. Curva Fuller de la granulometría grava de la cantera Saldaña	45
Figura 16. Curva Fuller de la granulometría arena de la cantera Saldaña	46
Figura 17. Pesado del cemento.	50
Figura 18. Pesado de la grava.	50
Figura 19. Pesado de la arena.	50
Figura 20. Mezclado de materiales.	50
Figura 21. Incorporación de la fibra.	51
Figura 22. Incorporación de la fibra.	51
Figura 23. Asentamiento sin fibra.	51
Figura 24. Asentamiento con fibra.	51
Figura 25. Moldes de viguetas.	51
Figura 26. Concreto fibroreforzado.	51
Figura 27. Montaje viga sobre platina.	52
Figura 28. Fisuración controlada.	52
Figura 29. Viga fibroreforzada fallada.	52
Figura 30. Esquema de medición de las vigas.	53
Figura 31. Gráfico Carga vs Deformación vigas testigo (sin fibra).	67
Figura 32. Gráfico Carga vs Deformación vigas con dosis 2 Kg/m <sup>3</sup>	67
Figura 33. Gráfico Carga vs Deformación vigas con dosis 3 Kg/m <sup>3</sup>	67
Figura 34. Gráfico Carga vs Deformación vigas con dosis 4 Kg/m <sup>3</sup>	67
Figura 34. Gráfico de resultados carga vs deformación promedio de vigas reforzadas con dosis de fibra de 2, 3 y 4 Kg/m <sup>3</sup> .	68
Figura 35. Gráfico de dosificación de fibra vs ARS (Average Residual Strength) (Resistencia residual promedio) de vigas sin fibra y con dosis de fibra	69

Figura 36. Gráfico de resultados promedio de ARS (Average Residual Strength) (Resistencia residual promedio) de vigas sin fibra y con dosis de fibra de 2, 3 y 4 Kg/m<sup>3</sup>.

70

## FICHA TÉCNICA

- a. Fecha
  - i. La fecha de presentación es Diciembre de 2017.
- b. Encabezado
  - i. El periodo en el cual se realizo este trabajo fue en el segundo semestre del año 2017.
  - ii. El programa académico al cual pertenece es el Especialización en Ingeniería de Pavimentos.
  - iii. Estudiante: Diego Alexander Torres Vargas Código 150799.
  - iv. El director del trabajo es el Ingeniero Juan Carlos Rouge.
- c. Título
  - i. El titulo del proyecto es **DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA RESIDUAL PROMEDIO (ANÁLISIS POST-FISURACIÓN) DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA SINTETICA DE PET+PP.**
- d. Línea de investigación y Eje Temático
  - i. La línea de investigación a la cual pertenece es materiales.
  - ii. El eje temático del proyecto es analizar los resultados de un concreto reforzado con macrofibra sintética cuando es sometido a fisuración mediante la determinación de su resistencia residual cubierto bajo la norma NTC 5981 (ASTM C1399).

## 1 INTRODUCCIÓN

Actualmente la fisuración del concreto en pavimentos rígidos o placas es aplicable a muchas causas que bien son demasiado complejas poder identificarlas, en si, las fisuras pueden sólo afectar la apariencia de una estructura, pero también pueden indicar fallas estructurales significativas o falta de durabilidad.<sup>1</sup>

El concreto, al igual que otros materiales de construcción, se contrae y expande con los cambios de humedad y temperatura, y se deforma dependiendo de la carga y de las condiciones de apoyo.

Pueden ocurrir grietas cuando no se han tomado las medidas necesarias en el diseño y la construcción para soportar dichos movimientos.<sup>2</sup>

Pero en condiciones fisuradas los concretos pierden significativamente su capacidad resistente debido a que ya no esta presente el monolitismo y la continuidad de su masa para poder disipar energía o cargas, lo cual esta ligado a una limitación de la estructura que originalmente estaba diseñada para cierta carga de servicio y que ya no es posible soportarla en un 100% debido a esta falla.

Actualmente existe la forma de devolver en un gran porcentaje esa capacidad de carga a los concretos fisurados mediante el uso de macrofibras sintéticas estructurales, adicionadas en un porcentaje o dosificación en volumen, ya que hacen un puenteo o transferencia de carga en miles de puntos a lo largo de la fisuración presentada y esta asume los esfuerzos hasta el limite final del material que lo compone.

Ya existe la forma de medir en términos de resistencia el aporte del uso de macrofibras sintéticas estructurales al concreto en condiciones de post-fisuración y se trata de la aplicación de la norma NTC 5981 (ASTM C1399), MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL ESFUERZO RESIDUAL PROMEDIO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA, este método de ensayo es muy importante porque permite ver en condiciones fisuradas el aporte de este tipo de refuerzos.

Es relevante destacar que el uso de las macrofibras también aportan a reducir la fisuración causada por la contracción de fraguado y las cargas estructurales, y este argumento lo podemos confirmar ya que al formar parte como un agregado mas en la matriz del concreto permite interceptar cualquier fisuración generada

---

<sup>1</sup> [https://www.inti.gov.ar/cirsoc/pdf/publicom/Causas\\_evaluacion\\_reparacion.pdf](https://www.inti.gov.ar/cirsoc/pdf/publicom/Causas_evaluacion_reparacion.pdf)

<sup>2</sup> <http://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP4es.pdf>



gracias a su trabajo a la tensión anclado y combatiendo la deformación lineal que se traduce en mitigación de la contracción.

Lo realmente motivante es que a través de este sencillo método y con la elaboración no compleja de los especímenes de concreto con y sin fibra, fallados a los 28 días de edad, se puede determinar los resultados, y poder comparar junto con los ensayos a flexión del concreto, los aportes importantes que las macrofibras sintéticas estructurales de PET+PP otorgan al concreto en condiciones fisuradas, llevándolo a una condición de durabilidad y de servicio mayor.

## **2 ANTECEDENTES**

En esta investigación se pretende revelar en uno de los problemas mas frecuentes y que por capacidad muchas veces no entendemos, se identifica como las condiciones de servicio de un concreto cuando este tiene una fisuración, y si es capaz de soportar cargas de uso frecuente y poder entender cual es el aporte del uso de las macrofibras cuando se presenta esta novedad, es importante descubrirlo numéricamente a través de los ensayos mecánicos y de resistencia, y ver la posibilidad de incluirlo en nuestros diseños de elementos de concreto sometidos a flexión en grandes superficies, para esto existe un análisis de esfuerzo residual cuando la matriz de concreto endurecido presentó discontinuidad por contracción y probablemente la estructura pierde capacidad de carga de diseño y posible colapso de su aporte, y luego pensamos que el uso de las macrofibras tienen un efecto residual en aportar a la matriz del concreto endurecido y poder absorber cargas en la etapa de servicio.

## **3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

Recientemente hemos sido testigos del crecimiento de la inversión del capital en el país para la infraestructura vial, así como la apertura de zonas de comercio industrial, aumento de la inversión extranjera, apertura de nuevos mercados y tratados de libre comercio que exigen zonas adecuadas de almacenamiento y vías de comunicación.

Dadas las obras, se requiere fuentes de materiales que permitan el alcance para la elaboración de mezclas, rellenos y tratamientos que cumplan o superen las especificaciones técnicas y que a su vez no impacten los presupuestos negativamente.

La localización de estas obras están en mas de un 70% del territorio del nacional, en zonas de alta variación térmica, que contribuyen a extraer, almacenar, mezclar

e instalar estos materiales de la forma adecuada, sin embargo las mejores practicas operativas en construcción no le aseguran al contratista la efectividad de que los materiales instalados en obra tengan un comportamiento infalible.

Debido a esta problemática compleja, se obliga a que los materiales sean reforzados en sus comportamientos mas débiles y controlar la aparición de fallas, mejorando sus propiedades resistentes en su edad de curado y vida útil.

### **3.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Se formulo las siguientes incógnitas:

¿Qué se quiere lograr con la investigación?

Se pretende revelar cual es la capacidad que tiene un concreto cuando se presenta la fisuración al agregar macrofibras sintéticas y su resistencia residual.

¿Qué se busca conocer?

Se busca conocer cual es el aporte de las macrofibras en los concretos fisurados.

¿a dónde se quiere llegar?

Se quiere llegar a que este tipo de materiales de refuerzo como lo son las macrofibras sintéticas se consideren como un aporte obligatorio cuando se pretende construir una estructura sometida a flexión para garantizar un material de mejor calidad.

## **4 OBJETIVOS**

### **4.1 OBJETIVO GENERAL**

Determinar el esfuerzo residual en los concretos reforzados con macrofibra sintética estructural de material de PET+PP. (polietileno de teraftalato + polipropileno).

### **4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Analizar cual es el aporte de las macrofibras de origen Colombiano en los concretos mas usados en pavimentos en el país en condiciones fisuradas .

Verificar si el puenteo mecanico que hacen las fibras en la fisura transmiten capacidad y transferencia de carga en la losa de concreto.

Demostrar si fibras macrosinteticas tienen aumento de vida útil muy significativo en los concretos para pavimentos.

## **5 JUSTIFICACIÓN**

Desde el punto de vista de la elección temática, es importante revelar hoy en día la necesidad en el mercado de los concretos, el considerar el uso de macrofibras, ya que aun se desconoce cuales son los aportes que le ofrece al concreto en termino de mejoramiento de propiedades resistentes, durabilidad y garantizando una mejor vida útil.

Desde el punto de vista de la problemática académica, la problemática esta en que las instituciones académicas no consideran la incorporación de este tipo de elementos a los temas presentados en las jornadas de clase, es de comprender que este tipo de materiales forma parte de un refuerzo importante y que presenta una alternativa que afecta positivamente muchos contextos como por ejemplo; procesos constructivos, contracción, ductilidad, calidad de los materiales, estabilidad de obra, etc.

Desde la perspectiva de la oportunidad, es importante dejarle a los nuevos profesionales en construcción y los que se enfocan a diseño, la información de que en el país ya se desarrollo un producto que en los más desarrollados esta siendo aplicado por mas de 20 años, y mejorando las propiedades intrinsecas y nacionalizar el uso de estos tipo de productos que aun muchos profesionales desconocen.

## **6 ALCANCE**

A través de este trabajo se pretende realizar una comparación entre el concreto simple y reforzado con fibras, teniendo en cuenta varias dosificaciones y un mismo diseño de mezcla, calculando el esfuerzo residual y por medio de este establecer parámetros de comparación.

Se busca medir mediante el ensayo ASTM 1399<sup>3</sup> el esfuerzo residual de una mezcla de concreto con fibras sintéticas, y su comportamiento post-fisuración.

El uso de estas fibras en los pavimentos rígidos se puede ver reflejado en estructuras más durables y con la necesidad de menos mantenimiento.

Al verificar el aporte resistente de las macrofibras poder entender su importancia al

---

<sup>3</sup> ASTM C1399/C1399M – 10 Standard Test Method for Obtaining Average Residual-Strength of Fiber-Reinforced Concrete.

considerarlas dentro de los diseños de mezclas para estas estructuras que serán sometidas a flexión.

## **7 MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL**

### **7.1 ANTECEDENTES DE MACROFIBRAS**

Las fibras siempre estuvieron presentes en materiales que tuvieron usos estructurales similares al concreto como el adobe, la tapia pisada y los morteros de cal entre otros.

Las fibras vegetales son de uso obligado en la tapia pisada y el adobe debido a que les ayudan a asumir esfuerzos de tensión y le confieren así un mayor monolitismo (no fisuración) a los elementos.

El uso de las fibras naturales como un componente más en materiales de relleno o aglomerantes, no es así nuevo y se remonta varios siglos atrás. En concreto existen referencias tempranas de experimentación con un refuerzo discontinuo (clavos, segmentos de cable, ganchos) que se remontan a 1910.

Probablemente el uso más extendido de las fibras como un componente mas en materiales aglomerantes haya sido su uso en elementos como tejas o prefabricados de asbesto- cemento. En este caso las fibras de asbesto le conferían al material el monolitismo y la resistencia a la tensión buscada, sin embargo por consideraciones de salud estas fibras de asbesto han sido sustituidas por otras de diferentes materiales que no tienen ningún efecto sobre la salud humana.<sup>4</sup>

La idea de reforzar con materiales fibrosos de manufacturas resistentes pero de elevada fragilidad se remonta a muchos años atrás; en el antiguo Egipto se introducía paja al macizo arcilloso con el cual confeccionaban ladrillos para conferirle una mayor resistencia y por lo tanto una buena manejabilidad después de la cocción al sol.

El uso de las fibras en materiales de construcción se remonta hasta antes de la aparición del cemento pórtland y del concreto. Fibras naturales como pasto, junco y pelo animal han sido tradicionalmente agregadas al adobe para disminuir su tendencia a la fisuración y mejorar el desempeño del material a esfuerzos de tensión.

---

<sup>4</sup> SIKA. "Sika Informaciones técnicas – Concreto reforzado con fibras". Internet: <http://es.scribd.com/doc/63523105/SIKA->

Existen otros ejemplos históricos: revoques reforzados con crin de caballo como La Muralla China, o también con paja en las construcciones más precarias, para evitar suras anti-estéticas de retiro, contra pisos en yeso armado con esteras de caña, conglomerados de cemento fibro-reforzados con amianto etc.<sup>5</sup>



Figura 1. Bloque de adobe reforzado con fibra de coco.<sup>6</sup>

Las fibras naturales están presentes en el material vegetal fibroso (plantas), como resultado de la fotosíntesis. Existen, además, otras fibras naturales que no son frecuentemente utilizadas en la ingeniería, como la seda, el pelo, las plumas, etc.

Las propiedades mecánicas de las fibras naturales se comenzaron a aprovechar alrededor del año 6000 a.c. en el refuerzo de cerámicas y momias. Más tarde, los lienzos para pinturas y los textiles de numerosas calidades fueron los protagonistas en el uso de fibras naturales, que eran impregnadas en resinas y mieles con sal para prolongar su vida útil.<sup>7</sup>

Las fibras son un elemento presente en la construcción civil desde la antigüedad entre los casos más representativos tenemos<sup>8</sup>:

- Pirámide Sakkara Egipto (2500 AC)
- Muros en la Mesopotamia (1400 AC)
- Muralla china (214 AC)
- Carreteras incas (214 DC)

<sup>5</sup> Publicación comercial libro Macrofibras – El presente y futuro de la construcción Pag. 7 - V.1 – empresa Abacol 2015 – Bogotá Colombia

<sup>6</sup> <https://prezi.com/oeasbu0oulqi/bloque-de-adobe-con-fibra-de-coco/>

<sup>7</sup> [http://www.docentes.unal.edu.co/mestradam/docs/tesisMEM\\_maestria.pdf](http://www.docentes.unal.edu.co/mestradam/docs/tesisMEM_maestria.pdf)

<sup>8</sup> MARSON FRANCO, Bruno Luis. Maccaferri. I Reunión del concreto 2010. Aplicación de microfibras en concretos y morteros.

Entre los materiales que han tenido usos estructurales similares al del concreto tales como el adobe, la tapia pisada, los morteros de cal entre otros, la fibra siempre ha estado presente. Las fibras vegetales son de uso obligado en la tapia pisada y el adobe debido a que les ayudan a asumir esfuerzos de tensión y le confieren así un mayor monolitismo (no fisuración a los elementos)<sup>9</sup>

Probablemente el uso más extendido de las fibras como un componente más en materiales aglomerantes haya sido su uso en elementos como tejas o prefabricados de asbesto-cemento.

En este caso las fibras de asbesto le conferían al material el monolitismo y la resistencia a la tensión buscada, sin embargo por consideraciones de salud estas fibras de asbesto han sido sustituidas por otras de diferentes materiales que no tienen ningún efecto sobre la salud humana.

## **7.2 HISTORIA DE LA FIBRA DE PET (POLIETILENO TERAFTALATO).**

Fue producido por primera vez en 1941 por los científicos británicos Whinfield y Dickson, quienes lo patentaron como polímero para la fabricación de fibras, ya que Inglaterra estaba en guerra y tenían la apremiante necesidad de encontrar sustitutos para el algodón proveniente de Egipto. A partir de 1946 se empezó a utilizar industrialmente como fibra y su uso textil ha proseguido hasta el presente. En 1952 se comenzó a emplear en forma de láminas delgadas para envasar alimentos, pero la aplicación que le significó su principal mercado fue en envases rígidos, en la década del 70. Pudo abrirse camino gracias a su particular aptitud para la fabricación de envases de bebidas poco sensibles al oxígeno como el agua mineral. Su facilidad para ser orientado y cristalizado permite fabricar elementos de alta resistencia mecánica. En estado desorientado sus propiedades no son tan favorables, lo que sugiere el uso de refuerzo con fibras o partículas que se encarguen de la resistencia mecánica.<sup>10</sup>

El PET es un polímero termoplástico que se fabrica con derivados del petróleo, gas y aire (sus proporciones aproximadas son 64%, 23% y 13% respectivamente). Por un lado se extrae paraxileno del petróleo y se oxida con el aire para generar ácido teraftalático (PTA) y por otro lado el gas natural provee el etileno que después es oxidado con aire para formar etilenglicol (EG). Perteneció al grupo de materiales sintéticos denominados poliésteres y su representación química se puede ver en la Figura 2.<sup>11</sup>

---

9 SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego. Tecnología del Concreto y del Mortero. Bogotá, D.C.: Bhandar Editores Ltda., 2001. 394 P.

10 [http://www.docentes.unal.edu.co/mestradam/docs/tesisMEM\\_maestria.pdf](http://www.docentes.unal.edu.co/mestradam/docs/tesisMEM_maestria.pdf)

11 Ibid

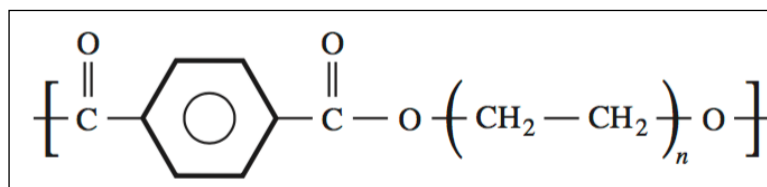


Figura 2 Representación química del poliéster termoplástico común.<sup>12</sup>

Este polímero tiene la cadena polimérica más rígida posible para un termoplástico con una excepcional combinación de propiedades mecánicas y térmicas. Estas características le dan al PET la posibilidad de utilizarse para aplicaciones en áreas como la eléctrica y la electrónica, y en productos como envases para bebidas, películas, cintas magnética, aislantes eléctricos, fibras, perfiles decorativos, tuberías y accesorios para carros, entre otros [33]. Por otro lado, esta cadena retrasa el grado de cristalización, lo que puede causar algunos problemas si se utiliza como resina para el moldeo por inyección.<sup>13</sup>

El polietileno tereftalato es un material duro, fuerte y de dimensiones estables que absorbe muy poca agua. Es altamente resistente a soluciones acuosas, ácidos débiles, bases, gasolina y productos de limpieza. Adicionalmente, posee buenas propiedades eléctricas, incluyendo alta resistencia dieléctrica, constante dieléctrica consistente y bajo factor de disipación, entre otras. Su estructura varía de amorfo a cristalino. Puede ser muy transparente e incoloro pero en secciones gruesas suele ser opaco y blanquecino. Por otro lado, este polímero es sensible a los oxidantes alcalinos y bases fuertes a altas temperaturas. Algunas propiedades características de este polímero parcialmente cristalizado son:<sup>14</sup>

- Alta transparencia, y admite algunos colorantes
- Alta resistencia y rigidez.
- Características favorables en deformación a largo plazo (creep).
- Superficie dura (puede pulirse).
- Alta estabilidad dimensional.
- Bajas propiedades eléctricas.
- Alta resistencia química y térmica.
- Reciclable, aunque tiende a disminuir su viscosidad.

<sup>12</sup> [http://www.docentes.unal.edu.co/mestradam/docs/tesisMEM\\_maestria.pdf](http://www.docentes.unal.edu.co/mestradam/docs/tesisMEM_maestria.pdf)

<sup>13</sup> Ibid

<sup>14</sup> Ibid

### 7.3 DEFINICIÓN DE MACROFIBRAS PARA EL CONCRETO

Una macrofibra para el concreto esta definida como elemento tipo monofilamento o multifilamento de dimensiones cortas (Aproximadamente 2") de materiales de acero, vidrio o sintético de diámetros equivalentes entre (0.4 mm y 1.5 mm) de sección transversal circular, ovalada o rectangular, diseñadas especialmente para poder ser incorporadas al concreto en estado fluido o fresco mediante medios mecánicos o manuales y cuya distribución debe quedar de forma dispersa y discontinua en toda la masa del concreto en la pasta de mortero y entre los agregados.

### 7.4 APOORTE RESISTENTE DE LAS MACROFIBRAS AL CONCRETO

La transmisión de los esfuerzos de la matriz a la fibra se realiza a través de los esfuerzos tangenciales unitarios de adherencia ( $\tau$ ), las tensiones normales crecen en la medida que aumenta la longitud de la fibra desde cero hasta el valor en que se rompe ( $\sigma_{fr}$ ), al ser muy superiores los esfuerzos normales ( $\sigma_m$ ) a las posibilidades de resistir a partir de los esfuerzos tangenciales unitarios.<sup>15</sup>

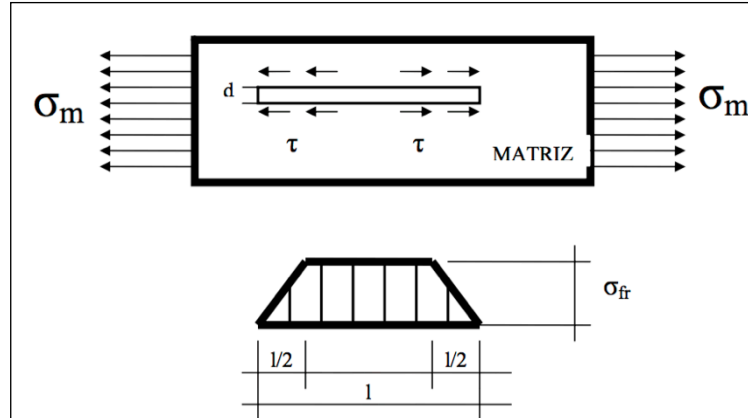


Figura 3 Representación de esfuerzos actuantes entre fibra y concreto.<sup>16</sup>

<sup>15</sup> [http://www.concretonline.com/pdf/00hormigon/art\\_tec/utilizacion\\_fibras\\_en\\_hormigones.pdf](http://www.concretonline.com/pdf/00hormigon/art_tec/utilizacion_fibras_en_hormigones.pdf)

<sup>16</sup> Ibid.



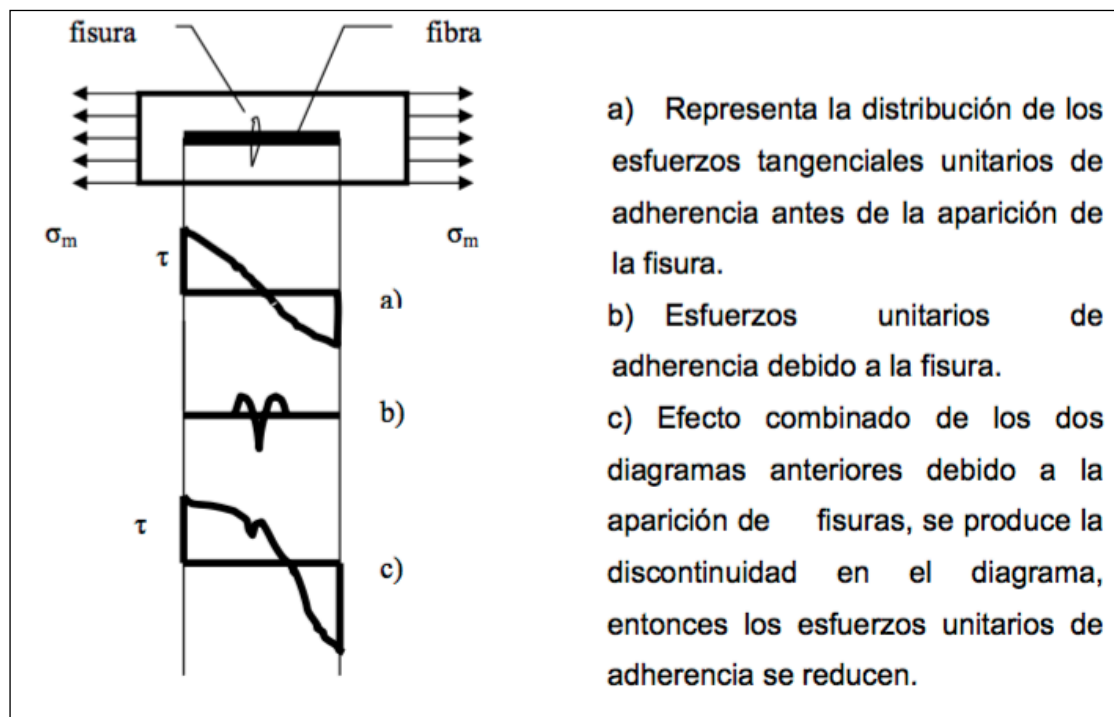


Figura 4 Diagrama de esfuerzos actuantes entre fibra y de concreto con fisura <sup>17</sup>

## 7.5 TIPOS DE FIBRAS

Los tipo de fibras según el estándar internacional son las siguientes <sup>18</sup>

- **Tipo I fibra de acero:** contiene acero inoxidable, acero de aleación o fibras de acero al carbono (ver la Nota 1). NOTA 1-Las fibras de acero no se dañan fácilmente por los procesos de mezclado o proyección de concreto y las fibras de acero no recubiertas son químicamente compatibles con el ambiente normalmente alcalino dentro de la pasta de cemento. Algunos recubrimientos, como el aluminio, pueden ser perjudiciales para el concreto. Las fibras de acero al carbono se oxidarán en condiciones que causan la oxidación del acero convencional, por ejemplo, en la porción cercana a la superficie del concreto sujeto a la carbonatación.

<sup>17</sup> [http://www.concretonline.com/pdf/00hormigon/art\\_tec/utilizacion\\_fibras\\_en\\_hormigones.pdf](http://www.concretonline.com/pdf/00hormigon/art_tec/utilizacion_fibras_en_hormigones.pdf)

<sup>18</sup> ASTM-C 1116 – 03 Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete and Shotcrete

- **Tipo II fibra de vidrio** - Contiene fibras de vidrio resistentes a los álcalis (ver Nota 2). NOTA 2-Las fibras de vidrio en hormigón o hormigón proyectado sometidas a humectación, atmósfera húmeda o contacto con suelo húmedo tienen el potencial de reaccionar con los álcalis presentes en la pasta de cemento, lo que debilita las fibras. También tienden a volverse frágiles debido a los productos de hidratación que penetran en los haces de fibras y llenan los espacios intersticiales entre los filamentos de vidrio individuales. Ambos mecanismos causan reducciones en la fuerza, tenacidad y resistencia al impacto con la edad. Los tipos de fibra de vidrio resistentes a los álcalis (AR) desarrollados para uso con cemento son más resistentes a los álcalis que el E-glass y otros tipos no comercializados específicamente para uso en cemento, y deben usarse junto con técnicas establecidas para suprimir la reacción álcali-silica, por ejemplo, el uso de un cemento de baja alcalinidad o una mezcla de minerales, o ambos. Sin embargo, incluso el uso de fibras de vidrio AR no previene el deterioro en el concreto reforzado con fibra de vidrio expuesto a la humedad durante un largo período de tiempo, pero solo ralentiza la velocidad a la que ocurre.
- **Tipo III Fibras sintéticas:** contiene fibras sintéticas para las cuales se pueden producir pruebas documentales que confirmen su resistencia a largo plazo al deterioro cuando entran en contacto con la humedad y los álcalis presentes en la pasta de cemento o las sustancias presentes en aditivos que incorporan aire y sustancias químicas (ver Nota 3). NOTA 3-Las fibras compuestas de algunos polímeros pueden deteriorarse al entrar en contacto con la humedad, los álcalis o algunos de los ingredientes de los aditivos químicos. Se ha demostrado que las fibras como las poliolefinas (polipropileno y polietileno), el nylon y el carbono son duraderas en el concreto. Cuando el comprador decida permitir el uso de fibras que no cumplan con las clasificaciones en la norma, por ejemplo: fibras naturales, fibras metálicas que no sean de acero, fibras de carbono, etc., el productor deberá presentar pruebas satisfactorias para el comprador. que el tipo de fibra propuesta para el uso no reacciona negativamente con la matriz de hormigón o proyectado, incluidos los constituyentes de cualquier mezcla presente, o con el entorno circundante en la matriz agrietada, causando el deterioro de las propiedades mecánicas con la edad en las condiciones de exposición previstas en la aplicación.

Tabla 1. Compilación de propiedades mecánicas de fibras usadas comúnmente en materiales concretos \* <sup>19</sup>

Type of fiber	Equivalent diameter, mm	Specific gravity, kg/m <sup>3</sup>	Tensile strength, MPa	Young's modulus, GPa	Ultimate elongation, %
Acrylic	0.02 to 0.35	1100	200 to 400	2	1.1
Asbestos	0.0015 to 0.02	3200	600 to 1000	83 to 138	1.0 to 2.0
Cotton	0.2 to 0.6	1500	400 to 700	4.8	3.0 to 10.0
Glass	0.005 to 0.15	2500	1000 to 2600	70 to 80	1.5 to 3.5
Graphite	0.008 to 0.009	1900	1000 to 2600	230 to 415	0.5 to 1.0
Aramid	0.010	1450	3500 to 3600	65 to 133	2.1 to 4.0
Nylon	0.02 to 0.40	1100	760 to 820	4.1	16 to 20
Polyester	0.02 to 0.40	1400	720 to 860	8.3	11 to 13
Polypropylene (PP)	0.02 to 1.00	900 to 950	200 to 760	3.5 to 15	5.0 to 25.0
Polyvinyl alcohol (PVA)	0.027 to 0.66	1300	900 to 1600	23 to 40	7 to 8
Carbon (standard)	—	1400	4000	230 to 240	1.4 to 1.8
Rayon	0.02 to 0.38	1500	400 to 600	6.9	10 to 25
Basalt	0.0106	2593	990	7.6	2.56
Polyethylene	0.025 to 1.0	960	200 to 300	5.0	3.0
Sisal	0.08 to 0.3	760 to 1100	228 to 800	11 to 27	2.1 to 4.2
Coconut	0.11 to 0.53	680 to 1020	108 to 250	2.5 to 4.5	14 to 41
Jute	0.1 to 0.2	1030	250 to 350	26 to 32	1.5 to 1.9
Steel	0.15 to 1.00	7840	345 to 3000	200	4 to 10

\*Data from Nawy (1996), Kuraray (2007), Saechtling (1987), Sim et al. (2005), Toledo et al. (2000), and Balaguru and Shah (1992).

Notes: 1 mm = 0.039 in.; 1 kg/m<sup>3</sup> = 0.06 lb/ft<sup>3</sup>; 1 MPa = 145 psi; 1 GPa = 1,450,000 psi.

## 7.6 MACROFIBRAS SINTÉTICAS USADAS EN ESTE PROYECTO.

Las macrofibras utilizadas en este proyecto están clasificadas como tipo III de la ASTM-C-1116-10.

Para la realización del ensayo se uso macrofibras sintéticas marca FIBRAPLAS CONCRETE de fabricación Colombiana.

Está definida como una macrofibra sintética estructural, que cuya composición de polipropileno y polímeros de alta resistencia, reúne las propiedades adecuadas para una alta tensión, las cuales se auto anclan cuando se incorporan en la mezcla del concreto, usadas técnicamente para reemplazar las fibras metálicas y mallas electrosoldadas en una gran variedad de aplicaciones en obra, dándole excelentes especificaciones a un costo más bajo. <sup>20</sup>

FIBRAPLAS CONCRETE®, tiene capacidad de otorgar a su concreto un reforzamiento multidireccional dando como resultado el incremento de la resistencia a la flexión, tenacidad a los esfuerzos, la resistencia al impacto y la abrasión, para reducir la formación de fisuras por contracción plástica en el concreto y por deformación elástica en la etapa de servicio. <sup>21</sup>

<sup>19</sup> ACI 544.5R-10 Report on the Physical Properties and Durability of Fiber-Reinforced Concrete

<sup>20</sup> [http://www.abacol.co/assets/fibraplas-concrete\\_libro\\_baja.pdf](http://www.abacol.co/assets/fibraplas-concrete_libro_baja.pdf)

<sup>21</sup> Ibid.



Figura 5 Imagen de la macrofibra FIBRAPLAS CONCRETE usada en el proyecto.<sup>22</sup>

---

<sup>22</sup> [http://www.abacol.co/assets/fibraplas-concrete\\_libro\\_baja.pdf](http://www.abacol.co/assets/fibraplas-concrete_libro_baja.pdf)

Tabla 2. Cuadro de propiedades mecánicas y físicas de la macrofibra FIBRAPLAS CONCRETE <sup>23</sup>

CONCEPTO	FIBRAPLAS CONCRETE
Diámetro Promedio (mm)	0,6
Tipo de Macrofibra	Sintética
Longitud (mm)	55
Fibras por KG. Promedio (mm)	36600
Dosificación Frecuente (Kg./m3)	3,0 a 6,0
Fibras m3 dosificación promedio (und)	183000
Gravedad Especifica (Gr/cm3)	1,27
Resistencia máxima a la tensión (Mpa)	524
Módulo de elasticidad promedio (Gpa)	4,8
Textura Superficial	Marcado de Máximo Anclaje
Punto de Fusión (°C)	260
Presentación de empaque soluble	SI
Relación de aspecto	92
Color	Gris Metalizado
Absorción	Nula
Resistencia a sales y ácidos	Alta
Resistencia al álcalis	Alta
Resistencia a Hongos - Mohos	Alta
Conductividad Eléctrica	Nula
Conductividad térmica	Nula

<sup>23</sup> [http://www.abacol.co/assets/fibraplas-concrete\\_libro\\_baja.pdf](http://www.abacol.co/assets/fibraplas-concrete_libro_baja.pdf)

## 7.7 VENTAJAS TÉCNICAS DE USAR MACROFIBRAS SINTÉTICA EN EL CONCRETO.

Las siguientes son las ventajas que se experimentan con el uso de la macrofibra sintética.<sup>24</sup>

- Incremento de la tenacidad a la flexión.
- Mayor capacidad de disipación de energía.
- Controla y reduce la retracción y fisuración por dinámica plástica natural del concreto.
- Reduce la segregación y la exudación.
- Con excelente geometría para generar un anclaje perfecto al concreto.
- Inoxidable, asegura mayor durabilidad.
- Capacidad de refuerzo igual o superior a las mallas electro soldadas.
- Reduce el desgaste de mangueras trompos y mixer.
- Manipulación más segura que el acero evitando lesiones en las manos.
- Mayor cantidad de fibras por m<sup>3</sup> en comparación con las fibras metálicas
- Simplifica la logística de construcción
- Químicamente inerte, resiste álcalis y áridos.
- Aumenta significativamente la resistencia al impacto.
- Aislante eléctrico bajo. En placas de piso combate el alabeo.
- Trabaja tridimensionalmente en el concreto, reduciendo las tensiones y esfuerzos por dilataciones térmicas.
- Mayor resistencia al fuego
- Resistente a corrosión, no es magnética,
- Fácil de usar, se puede involucra a su mezcla de concreto antes del vaciado o colocación.

---

<sup>24</sup> [http://www.abacol.co/assets/fibraplas-concrete\\_libro\\_baja.pdf](http://www.abacol.co/assets/fibraplas-concrete_libro_baja.pdf)

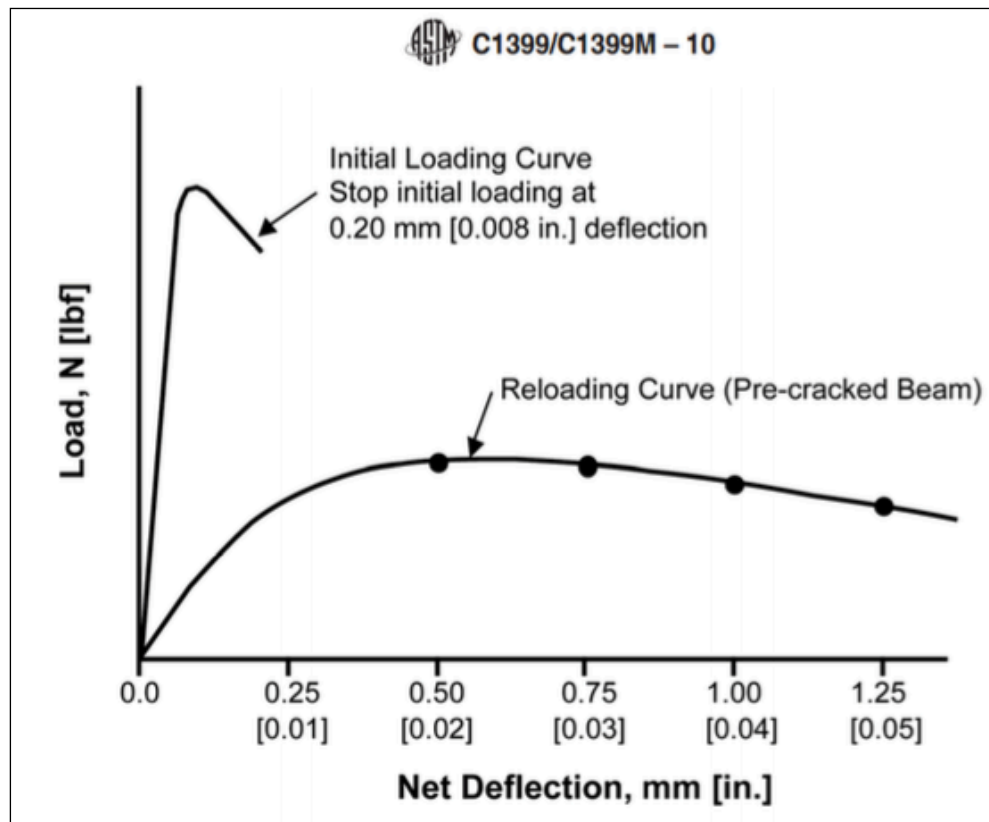


Figura 6 Curva Carga-Deflexión del comportamiento de un concreto sin refuerzo y reforzado con macrofibras.<sup>25</sup>

## 7.8 APLICACIONES DE LA MACROFIBRA

Existen varias aplicaciones de este tipo de fibra en el mercado, las siguientes son las más representativas.<sup>26</sup>

- Concreto lanzado(reduce el rebote).
- Pisos industriales. Pisos comerciales.
- Pisos residenciales.
- Placas de entrepiso, sistema lámina colaborante.
- Placas de entrepiso, sistema placa fácil.
- Prefabricados y concretos livianos.
- Pavimentos rígidos.

<sup>25</sup> ASTM C1399/C1399M - 10 Standard Test Method for Obtaining Average Residual-Strength of Fiber-Reinforced Concrete.

<sup>26</sup> [http://www.abacol.co/assets/fibraplas-concrete\\_libro\\_baja.pdf](http://www.abacol.co/assets/fibraplas-concrete_libro_baja.pdf)

- Piscinas y tanques.
- Muros en sistema industrializado (refuerzo parcial).
- Concreto lanzado en estabilización de taludes.
- Rehabilitación estructural.
- Reforzamiento sísmico.
- Losas de revestimiento de canales.
- Protección contra desprendimientos por fuego.
- Protección y reparación de estructuras marinas.
- Muros de contención. Rehabilitación y construcción de acueductos.
- Reforzamiento de pilotes hincados.
- Aplicaciones mineras.
- Reforzamientos para zonas en que se requiere materiales no metálicos.
- Morteros recrecidos en placas de entrepiso.

Actualmente en el diseño de juntas no se ha evidenciado que el uso de fibras reduzca o incremente el espaciamiento entre ellas, sin embargo algunos fabricantes han experimentado con y sin éxito la construcción de losas con y sin juntas.<sup>27</sup>

Se debe tener en cuenta que el uso de fibras aumenta la resistencia a la tracción, lo cual en teoría permitiría aumentar la separación entre juntas, aun así se recomienda seguir utilizando la normatividad vigente para la modulación de las mismas.<sup>28</sup>

En cuanto lo que tiene que ver con el diseño del pavimento, su espesor podría reducirse si se tiene en cuenta parámetros como las solicitaciones, el tipo de suelo, la calidad del concreto y la contribución de las fibras; Teniendo en cuenta la teoría de línea de fluencia donde se tiene en cuenta las propiedades del concreto podría haber reducción en el espesor, pero acompañado también del incremento en la dosis de fibra. En este caso habría que realizar una evaluación económica para establecer si hay algún tipo de ventaja en este caso.<sup>29</sup>

## 7.9 CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS

Al adicionar fibras al concreto, bien sean macro fibras o micro fibras, se obtiene un material con características mecánicas diferentes al concreto convencional.

Los factores que influyen en las propiedades de un concreto reforzado con fibras son las siguientes:<sup>30</sup>

---

<sup>27</sup> <http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/11320/1/MendozaVargasJuanIvan2013.pdf>

<sup>28</sup> Ibid

<sup>29</sup> Ibid.

<sup>30</sup> Ibid.



- Fibras: geometría, relación de aspecto, contenido, orientación y distribución.
- Matriz: resistencia y dimensión máxima de los agregados.
- Interfaz fibra-matriz.
- Probetas: dimensiones, geometría y metodología de ensayo.

## 7.10 APORTES DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS EN LOS ENSAYOS DE COMPRESION Y FLEXIÓN.

### 7.10.1 COMPRESIÓN

Esta propiedad no presenta mayor variabilidad con respecto a la adición de fibras, una vez alcanza el pico (esfuerzo máximo) en la curva carga vs deformación presenta mayor ductilidad debido a la presencia de fibras.<sup>31</sup>

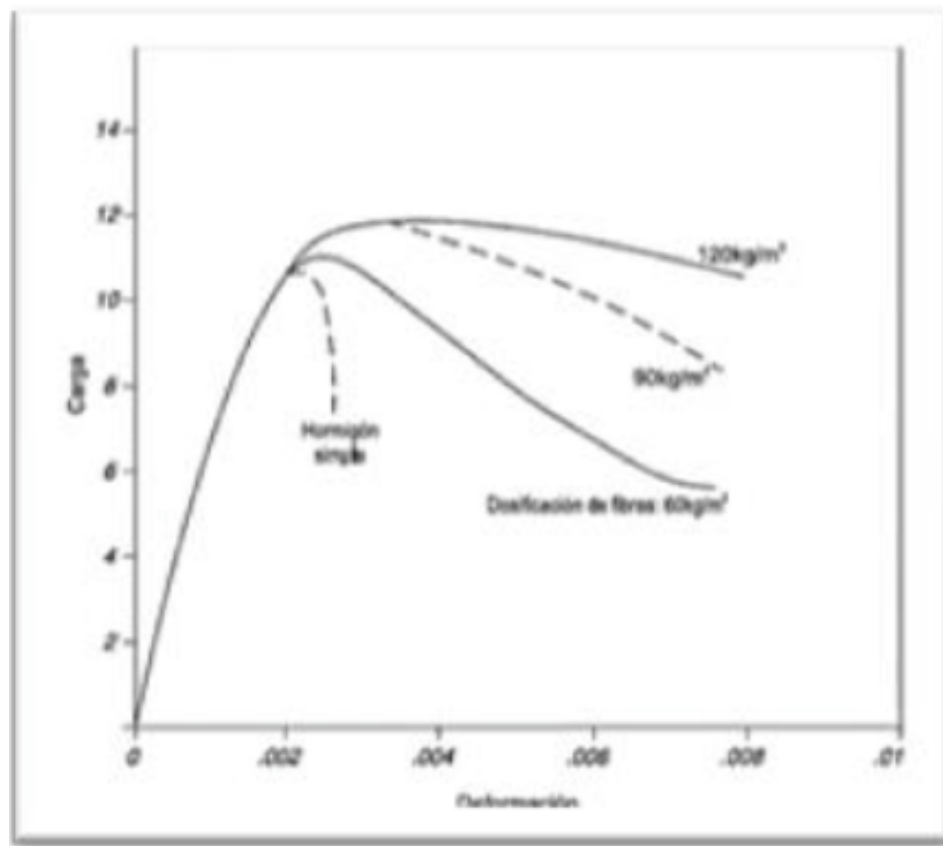


Figura 7. Comportamiento del concreto reforzado con fibras a compresión.<sup>32</sup>

<sup>31</sup> <http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/11320/1/MendozaVargasJuanIvan2013.pdf>

### 7.10.2 FLEXIÓN

Esta propiedad si presenta mayor variabilidad con respecto a la adición de fibras, una vez alcanza el pico (esfuerzo máximo) en la curva carga vs deformación presenta mayor ductilidad debido a la presencia de fibras.

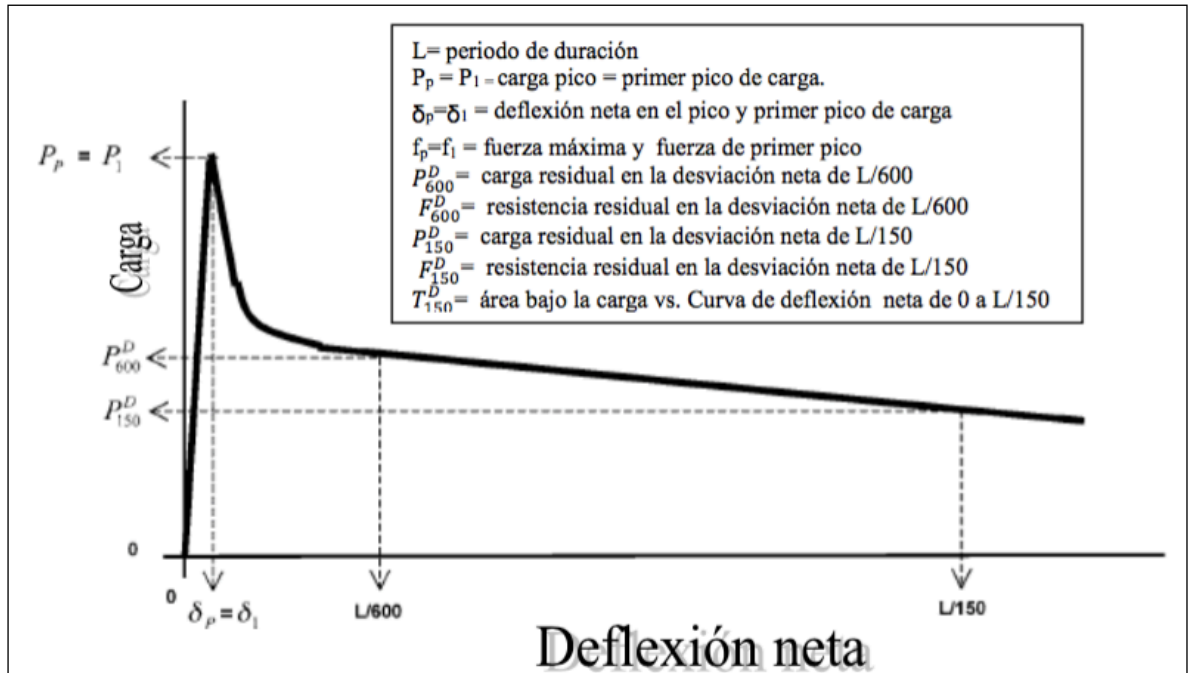


Figura 8. Comportamiento del concreto reforzado con fibras a flexión.<sup>33</sup>

<sup>32</sup> <http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/11320/1/MendozaVargasJuanIvan2013.pdf>

<sup>33</sup> ASTM C1609/C1609M – 10 Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading)

## **7.11 MARCO NORMATIVO ACTUAL PARA EVALUACIÓN DE LOS CONCRETOS REFORZADOS CON FIBRA.**

Las siguientes son las normas estandarizadas aplicadas en la medición de los concretos reforzados con fibra (CRF).<sup>34</sup>

### **ASTM C 1399 “Método de ensayo para determinar el esfuerzo residual promedio del concreto reforzado con fibra”**

Esta norma es usada sobre todo para diseño de pisos en donde se determina el esfuerzo residual promedio (post-fisuración) luego de pre fisurar de manera controlada una viga de concreto fibrareforzado. No requiere una máquina de falla controlada por la deflexión de la viga. (Circuito cerrado).

### **ASTM C 1609 “Método de ensayo para determinar el desempeño del concreto reforzado con fibra (Usando una viga cargada en los tercios)”**

Este ensayo similar al descrito en la ASTM C 1399 no emplea una platina de apoyo sobre la cual pre-fisurar el material, la deformación post fisuración es medida gracias a que la aplicación de la carga es controlada por la deflexión del espécimen. (Servo Controlado).

### **En 14488-3 “Ensayos sobre concreto lanzado- Parte 3: Resistencias a la flexión (Determinación de la resistencia al primer pico, del último y de la resistencia residual) de vigas de concreto reforzado con fibras”**

Este ensayo corresponde al tercero de los procedimientos sobre concreto lanzado descrito por la norma EN 14488, tiene como limitación que requiere una vez más que la carga de la máquina sea controlada por la medida de la deflexión a medida que se carga una viga cargada en los tercios.

No requiere una máquina de falla controlada por la deflexión de la viga. (Circuito cerrado).

### **En 14488-5 “Ensayos sobre concreto lanzado- Parte 5: Determinación de la capacidad de absorción de energía de una placa de concreto reforzado con fibras”**

Esta norma expone el ensayo original de absorción de energía EFNARC, que obtiene sobre un espécimen cuadrado sobre el que una curva Carga vs. Deflexión a partir de la cual se calcula un valor de energía la deflexión de la viga. (Circuito cerrado).

---

<sup>34</sup> [http://www.abacol.co/assets/fibraplas-concrete\\_libro\\_baja.pdf](http://www.abacol.co/assets/fibraplas-concrete_libro_baja.pdf)

**ASTM C 1550 “Método de ensayo para determinar la tenacidad a flexión del concreto reforzado con fibras (usando una carga central sobre un panel redondo)”**

Este ensayo de origen australiano, es el equivalente a la norma EFNARC 14488-5, solo que hay una mejor distribución de la carga un espécimen circular apoyado en tres puntos no restringidos y el panel cuenta con un espesor de 75 mm. la deflexión de la viga. (Circuito cerrado).

**En 14889-1 “Fibras para concreto- Parte 1- Fibras de acero- especificaciones Y conformidad.”**

Al igual que la parte 2 (sintéticas) esta norma europea establece las definiciones de los diferentes grupos de fibras de acero (I-V) de acuerdo a su proceso de fabricación. Define y enumera las propiedades más importantes de las fibras, así como sus tolerancias.

**En 14889-2 “Fibras para concreto- Parte 2 - Fibras de polímeros o sintéticas- Definición, Especificaciones y conformidad.”**

Esta norma europea define cuatro tipos de fibras (Clase I, II, III y IV) dependiendo de la función para la cual están destinadas. Establece igualmente las variaciones aceptables en dimensionales como en las propiedades en las fibras. Define la relación de aspecto (diámetro/ longitud) y para las fibras con sección diferente a la circular permite el cálculo de un diámetro equivalente.

**EFNARC “European Specification for Sprayed Concrete” [www.efnarc.org](http://www.efnarc.org)**

La asociación EFNARC se fundó en 1989 para establecer el estado del arte sobre el concreto lanzado. Este documento describe diferentes tipos de ensayos para evaluar el concreto reforzado con fibras. Sin embargo el más celebre de ellos se constituye en el ensayo para determinar la capacidad de absorción de energía de una placa cuadrada de concreto lanzado reforzado con fibras. El documento describe el principio de este ensayo (sin entrar en mayores detalles) y establece unas categorías de desempeño de acuerdo al resultado obtenido. Así los concretos lanzados reforzados con fibras de acuerdo a esta metodología se clasifican en Tipo A, B y C para una capacidad de absorción de energía ascendente (500 julios, 700 julios y 1000 julios).

### **NTC 5541 “Concretos reforzados con FIBRAS”**

Constituye en la norma general de fibras, con las definiciones y clases generales de reforzamiento con fibras. Igualmente lista las propiedades del concreto modificadas por la inclusión de las fibras. Así como señala las recomendaciones de mezclado, transporte y manipulación de un concreto reforzado con fibras. Establece igualmente las tolerancias de variación sobre las propiedades más importantes de los concretos reforzados con fibras.

### **NTC 5721 “Método de ensayo para determinar la capacidad de absorción de energía (tenacidad) de concreto reforzado con fibras” (EFNARC)**

Esta norma describe en detalle el procedimiento de ensayo mencionado en las “Especificaciones para Contratistas” de la EFNARC, donde se mide sobre una placa cuadrada de 100 mm de espesor y 600 mm de lado la tenacidad del concreto reforzado con fibra. Su aplicación principal se encuentra sin duda sobre el concreto lanzado. El ensayo se concentra en determinar la curva Carga vs. Deflexión de estas probetas provenientes de campo, constituyéndose en un ensayo sobre un elemento de similares dimensiones que la estructura misma. Esta norma permite evaluar no solamente el cumplimiento frente a una especificación sino además comparar el desempeño entre diferentes tipos de fibras.

### **IIS-SF4. “Método de ensayo para determinar la tenacidad del concreto reforzado con fibra”**

Este ensayo se efectúa sobre la viga simplemente apoyada sobre la que determina el parámetro RE,3 resistencia residual a 3mm de deflexión. Parámetro muy usado en el diseño de pisos.

## **7.12 PRINCIPALES PROPIEDADES QUE MEJORA LA FIBRA EN EL CONCRETO.**

### **7.12.1 TENACIDAD.<sup>35</sup>**

La tenacidad se define como la capacidad de absorción de energía, cuando la tenacidad del material es alta ayuda a que la estructura incluso después del agrietamiento pueda seguir siendo cargada. La tenacidad es una propiedad que describe la capacidad de un material de soportar cargas antes de colapsar.

---

<sup>35</sup> <http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/11320/1/MendozaVargasJuanIvan2013.pdf>

Un ejemplo que puede ilustrar mejor este concepto lo constituye un alambre y un caucho de la misma geometría (por ejemplo 10cm de longitud). Si se toman los extremos del caucho con dos dedos de cada mano y se separan las manos el caucho se tensiona, si se aplica más carga separando más las puntas, el caucho se tensiona un poco más, pero al mismo tiempo su deformación crece increíblemente.

Si se continua y separan aún más los extremos (equivalente a una carga externa) el caucho se deforma aún más y el nivel de tensión en el también crecerá (al mismo tiempo crecen tensión y deformación). Así el nivel de esfuerzo que alcanza el caucho al momento de la falla es bajo porque la resistencia a la tensión del material es baja, pero la deformación del material ha sido gigantesca abriendo completamente los brazos.

### **7.12.2 ESFUERZO RESIDUAL<sup>36</sup>**

El esfuerzo residual describe la capacidad del material de seguir siendo cargado después de ocurrida la fisura antes de colapsar.

Una vez la matriz del concreto se ha fisurado, el concreto sin fibra simplemente colapsa y la estructura también, es decir que no hay continuidad en la estructura y puede caer en pedazos.

En un concreto fibroreforzado la falla y colapso de la estructura tienen lugar mucho después de la aparición de la fisura principal.

El concreto fibroreforzado le permite a la estructura seguir absorbiendo cargas externas (que pueden ser las llantas de una tracto mula, las fuerzas producidas por un sismo, o el empuje de un terreno) sin colapsar, le permite a la estructura seguir funcionando.

Las ventajas que ofrecen las fibras son altamente apreciadas en estructuras como pisos, pavimentos, recubrimientos de concretos lanzados en taludes y túneles, elementos expuestos a cargas altas en tiempos cortos como explosiones.

Los concretos reforzado con fibras son capaces de absorber enormes cantidades de energía y para cuantías de dosificación muy altas, se usan como disipadores sísmicos (columnas con más de 100kg/m<sup>3</sup> de fibra metálica o mas de 10kg/m<sup>3</sup> fibra sintéticas) que pueden actuar como amortiguadores en bases de

---

<sup>36</sup> <http://es.scribd.com/doc/63523105/SIKA-FIBRA>

edificaciones. Estas aplicaciones sin embargo no son las más frecuentes pero prometen aplicaciones nuevas y diversas para los próximos años para lo cual se requiere investigación.

## **8 METODOLOGÍA**

### **8.1 TIPO DE ESTUDIO**

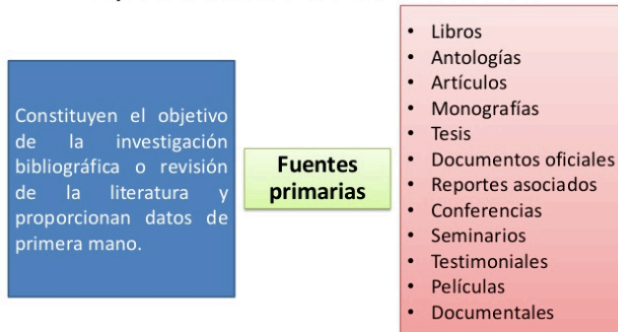
Para la ejecución del proyecto se considero variables que se aplicaron en su orden, en primera instancia se realizó la localización de materiales y laboratorios para caracterizar los materiales gruesos y finos, luego se diseño la mezcla teniendo en cuenta las características de los materiales a emplear y los resultados que se buscan.

Consecutivamente se fabrico los especímenes de concreto haciendo los procesos debidos para garantizar que los resultados se arrojen como se espera y finalmente se realizo los ensayos correspondientes para determinar el esfuerzo residual que es el parámetro que se gobernó el objetivo en este trabajo.

## 8.2 FUENTES DE INFORMACIÓN<sup>37</sup>

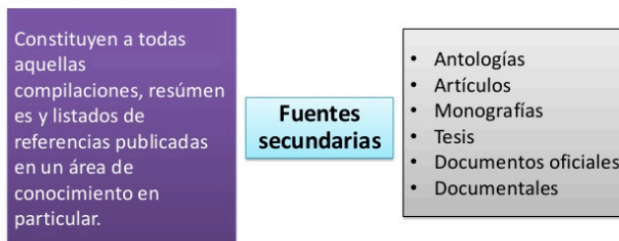
---

### Tipos básicos de información



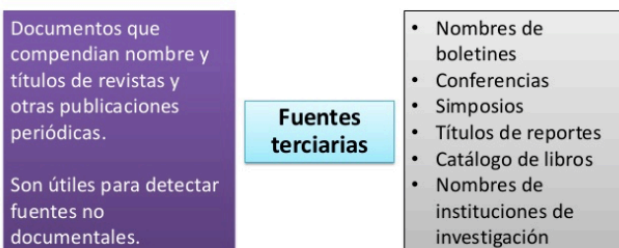
2

### Tipos básicos de información



3

### Tipos básicos de información



5

---

<sup>37</sup> <https://es.slideshare.net/zushu/tipos-de-fuentes-de-informacin-29710711/2>



Figura 9. Fuentes de información teóricas para el desarrollo.

### 8.3 DIAGRAMA DE PROCESO.

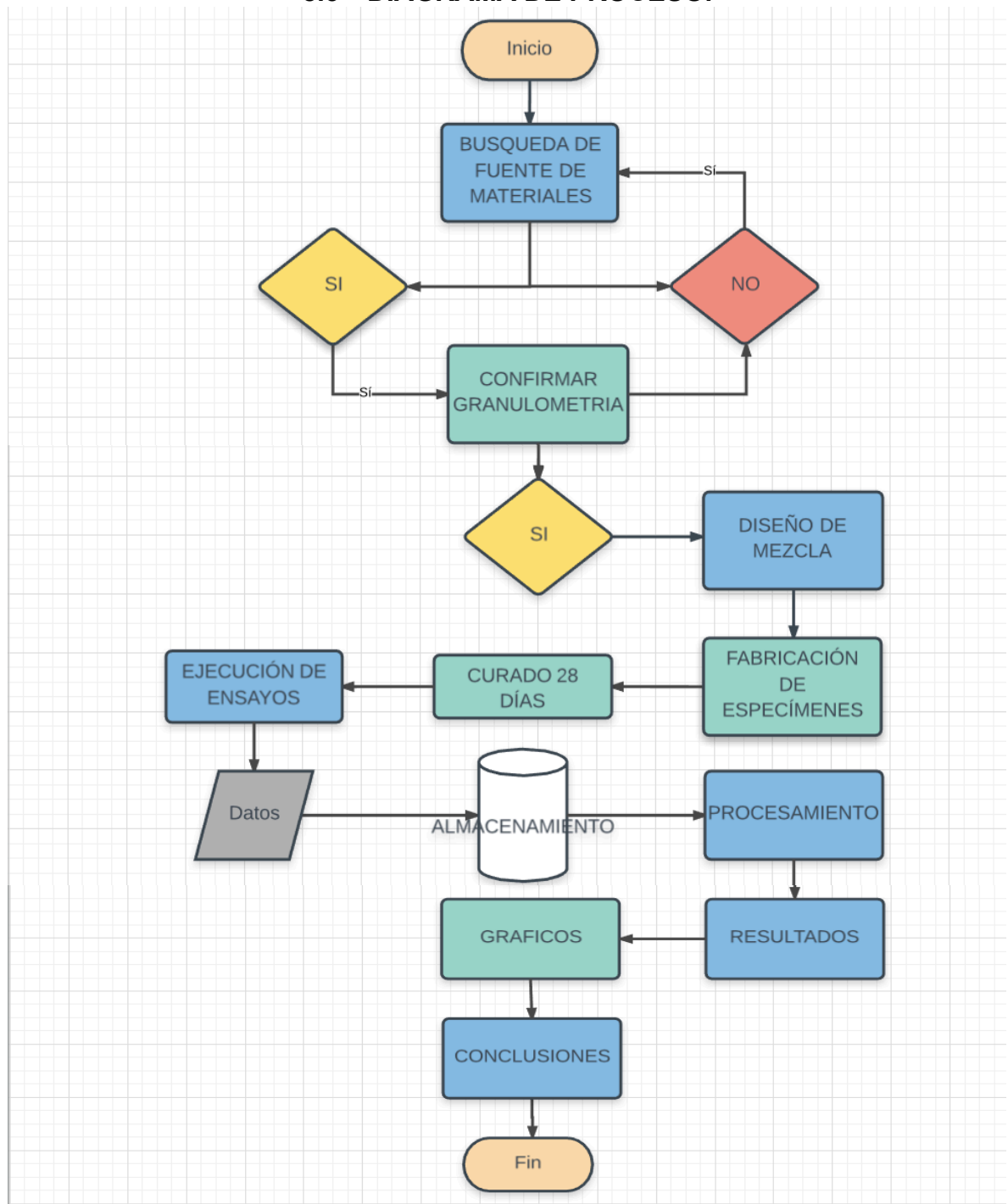


Figura 10. Diagrama de proceso.<sup>38</sup>

<sup>38</sup> Elaboración propia

## 8.4 PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO NTC 5981 (ASTM C1399).

### 8.4.1 ALCANCE<sup>39</sup>

Este método de ensayo cubre la determinación de la resistencia residual de una viga de prueba de concreto reforzado con fibras. La resistencia residual promedio se calcula utilizando deflexiones viga especificadas que se obtienen a partir de una viga que se ha agrietado de una manera estándar. La prueba proporciona los datos necesarios para obtener la parte de la curva de carga-deflexión después que se ha producido una cantidad significativa de daño agrietamiento y que proporciona una medida de la resistencia después de la falla, como tal la resistencia es afectada por el uso de refuerzos de fibra.

### 8.4.2 QUE ES RESISTENCIA RESIDUAL

Resistencia a la flexión que permanece después de agrietarse, debido al Sistema de fibra de refuerzo.



Figura 11. Imagen de fisura donde revela las fibras como refuerzo .<sup>40</sup>

<sup>39</sup> ASTM C1399/C1399M - 10 Standard Test Method for Obtaining Average Residual-Strength of Fiber-Reinforced Concrete.

<sup>40</sup> SIKA. "Sika Informaciones técnicas – Concreto reforzado con fibras". Internet: <http://es.scribd.com/doc/63523105/SIKA-FIBRA>

#### 8.4.3 ESQUEMA DEL ENSAYO.<sup>41</sup>

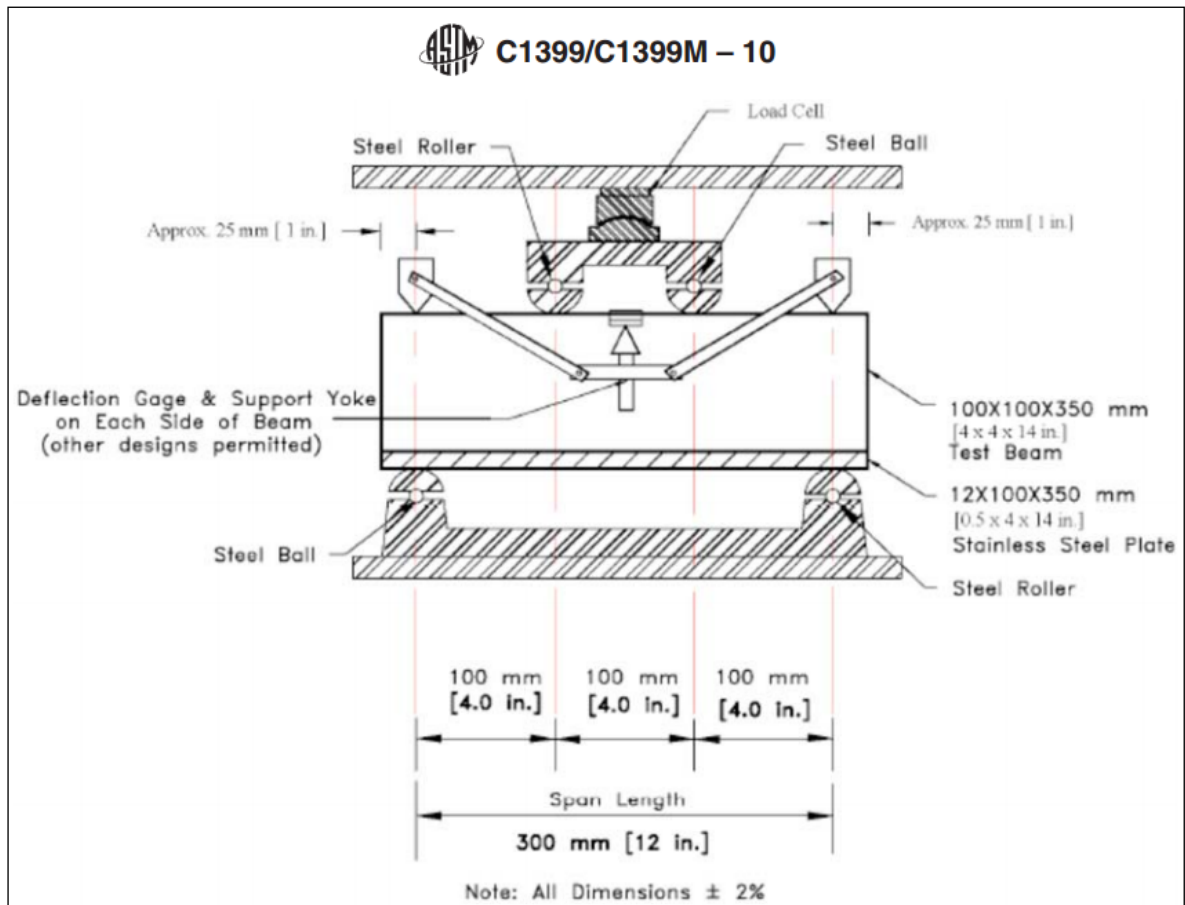


Figura 12. Esquema del posicionamiento de la viga en el ensayo.<sup>42</sup>

El concreto reforzado es agrietado usando el aparato de carga del tercio medio, especificado en el metodo de ensayo C78 modificado por una placa de acero utilizada para soportar en el apoyo de la viga de concreto durante un ciclo de carga inicial (Fig. 12). La placa de acero se usa para ayudar a controlar el índice de desviación cuando se agrieta la viga. Después de que la viga se ha agrietado en la forma especificada, la placa de acero se retira y la viga agrietada se vuelve a cargar para obtener datos y trazar una curva de deflexión de carga recarga. Los valores de carga en los valores de deflexión especificados en la curva de carga se promedian y se utilizan para calcular la resistencia residual promedio de la viga.<sup>43</sup>

<sup>41</sup> ASTM C1399/C1399M - 10 Standard Test Method for Obtaining Average Residual-Strength of Fiber-Reinforced Concrete.

<sup>42</sup> Ibid.

<sup>43</sup> ASTM C1399/C1399M - 10 Standard Test Method for Obtaining Average Residual-Strength of Fiber-Reinforced Concrete.

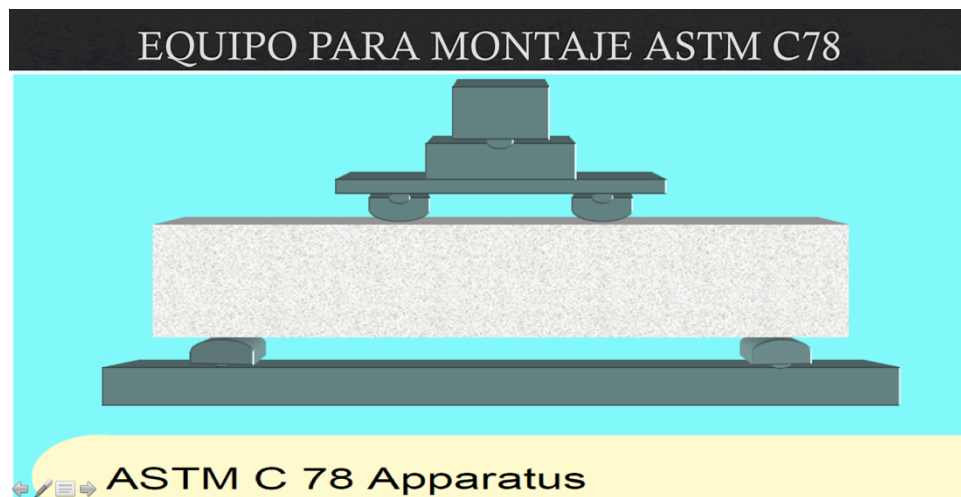


Figura 13. Esquema equipo de montaje ASTM C78 con viga de concreto.<sup>44</sup>

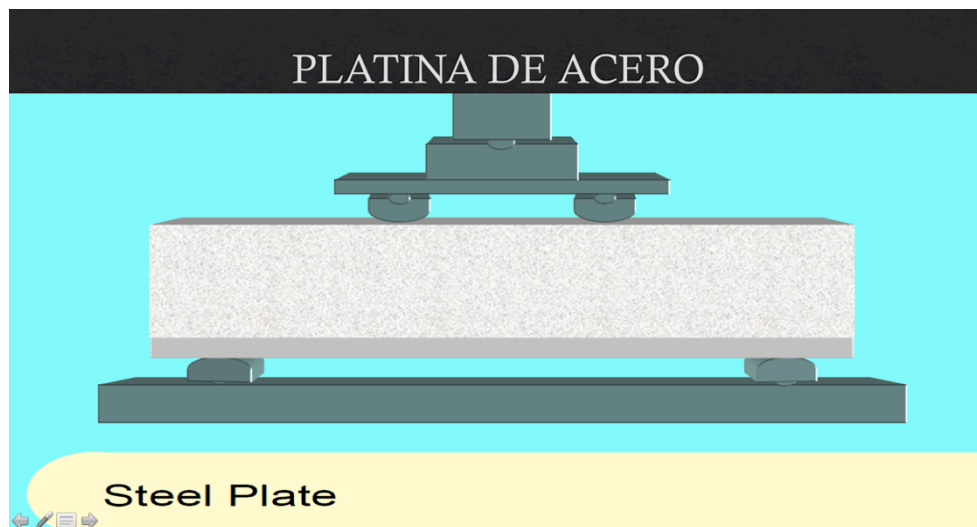


Figura 14. Esquema de la colocacion de platina de acero bajo viga de concreto.<sup>45</sup>

<sup>44</sup> Fiber-Reinforced Pervious Pavement - Greg Moody

<sup>45</sup> Ibid

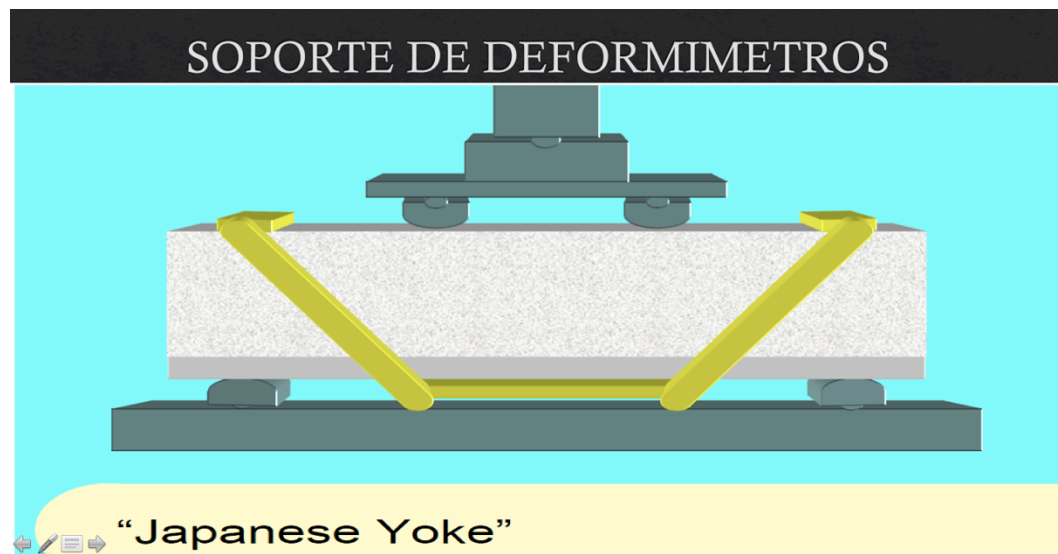


Figura 15. Esquema de la colocacion de deformimetros sobre viga de concreto.<sup>46</sup>

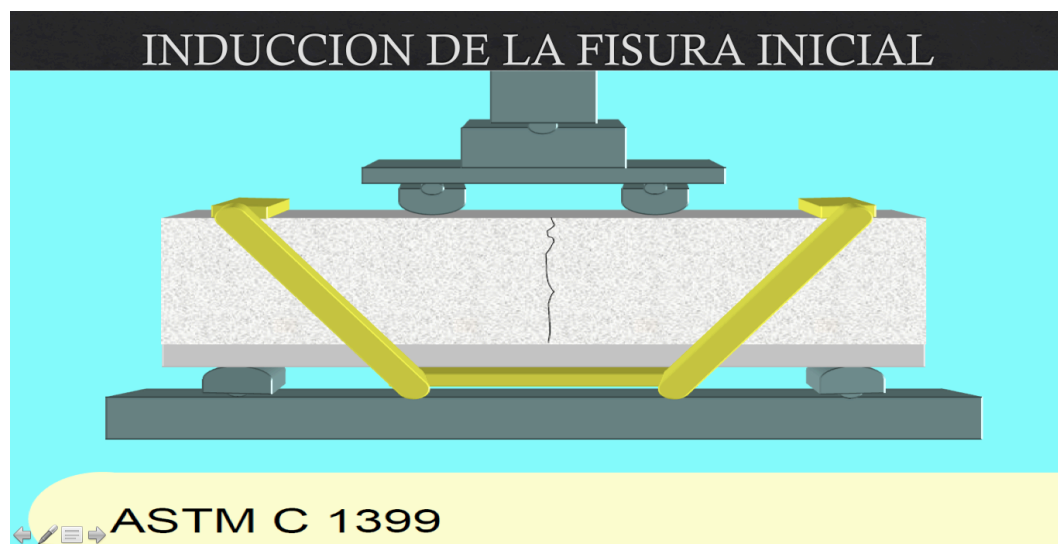


Figura 16. Esquema de fisuración controlada en la viga de concreto.<sup>47</sup>

<sup>46</sup> Fiber-Reinforced Pervious Pavement - Greg Moody

<sup>47</sup> Ibid

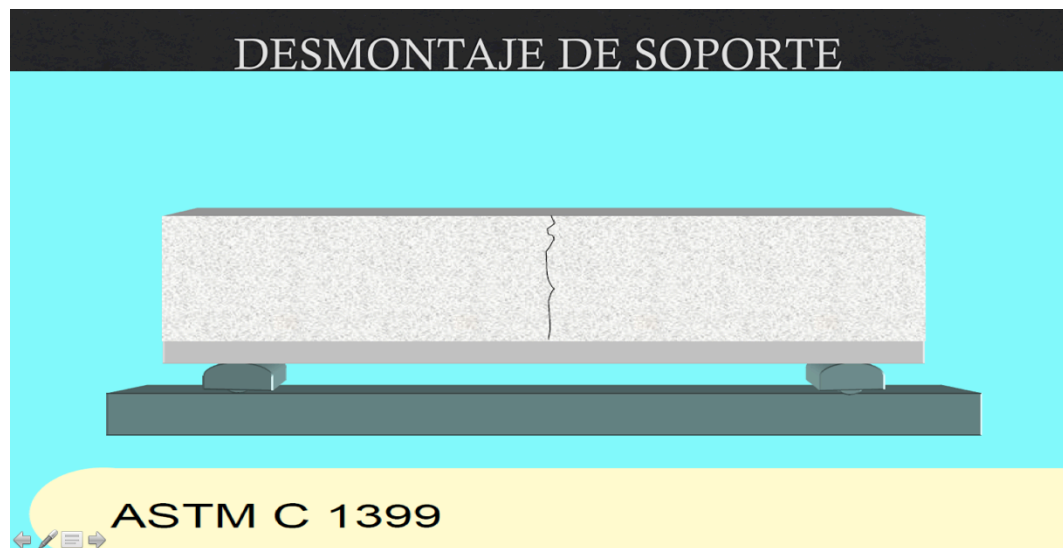


Figura 17. Esquema de retirado de deformímetros sobre viga de concreto.<sup>48</sup>

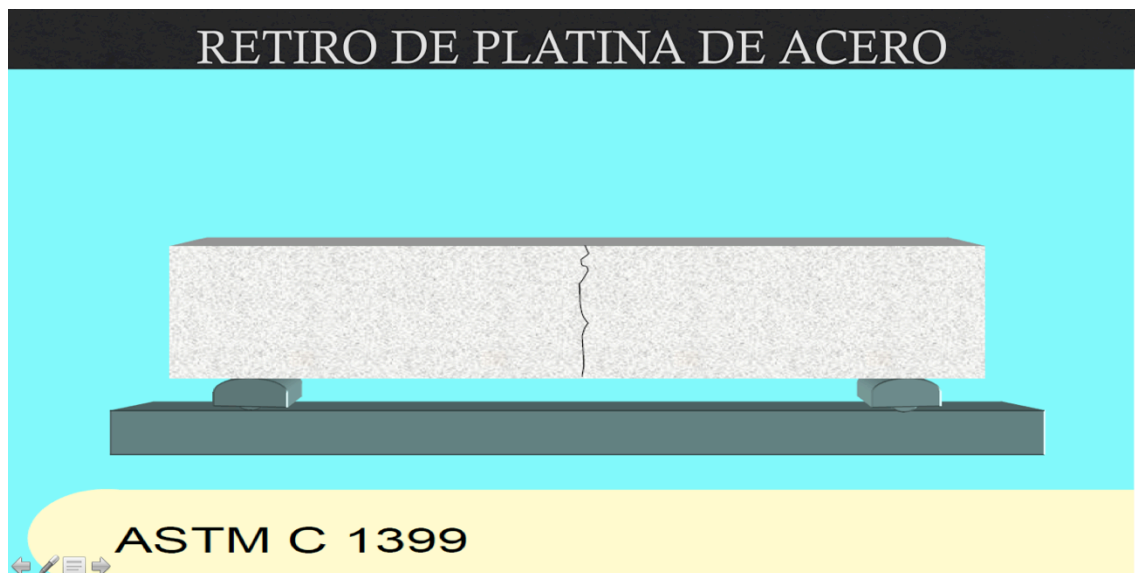


Figura 18. Esquema de retirado de platina bajo viga de concreto.<sup>49</sup>

<sup>48</sup> Fiber-Reinforced Pervious Pavement - Greg Moody

<sup>49</sup> Ibid



Figura 19. Esquema de aplicación de recarga sobre viga de concreto fisurada.<sup>50</sup>

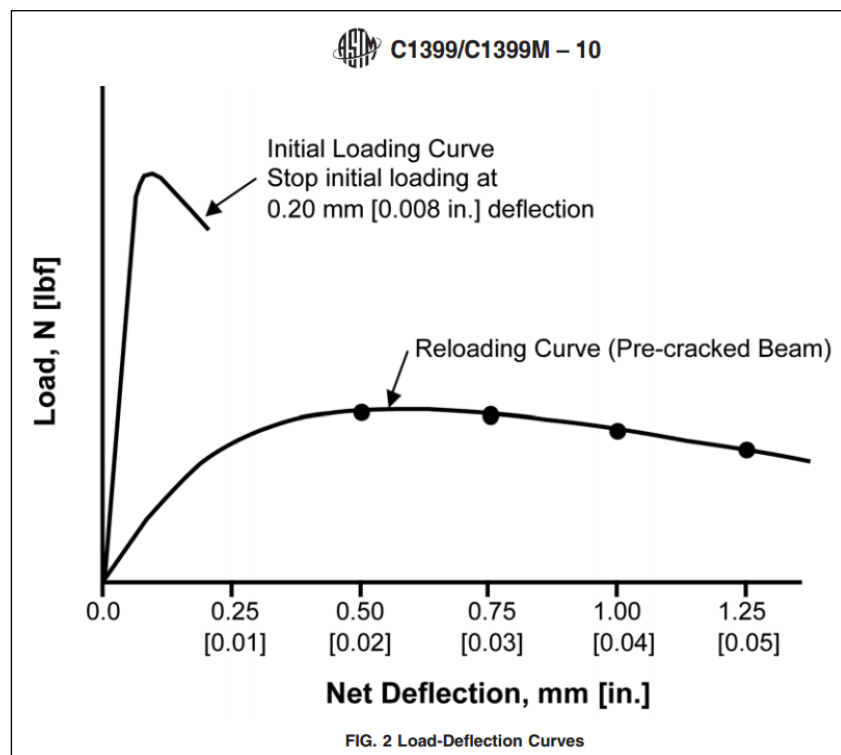


Figura 20. Gráfico carga vs deformación final de la carga inicial y recarga.<sup>51</sup>

<sup>50</sup> Fiber-Reinforced Pervious Pavement - Greg Moody

<sup>51</sup> ASTM C1399/C1399M - 10 Standard Test Method for Obtaining Average Residual-Strength of Fiber-Reinforced Concrete.



## 8.5 PROCEDIMIENTO DEL PROCESO

### 8.5.1 GRANULOMETRÍA DEL MATERIAL

La siguiente es la granulometría de la grava que sirvió para iniciar el proceso.

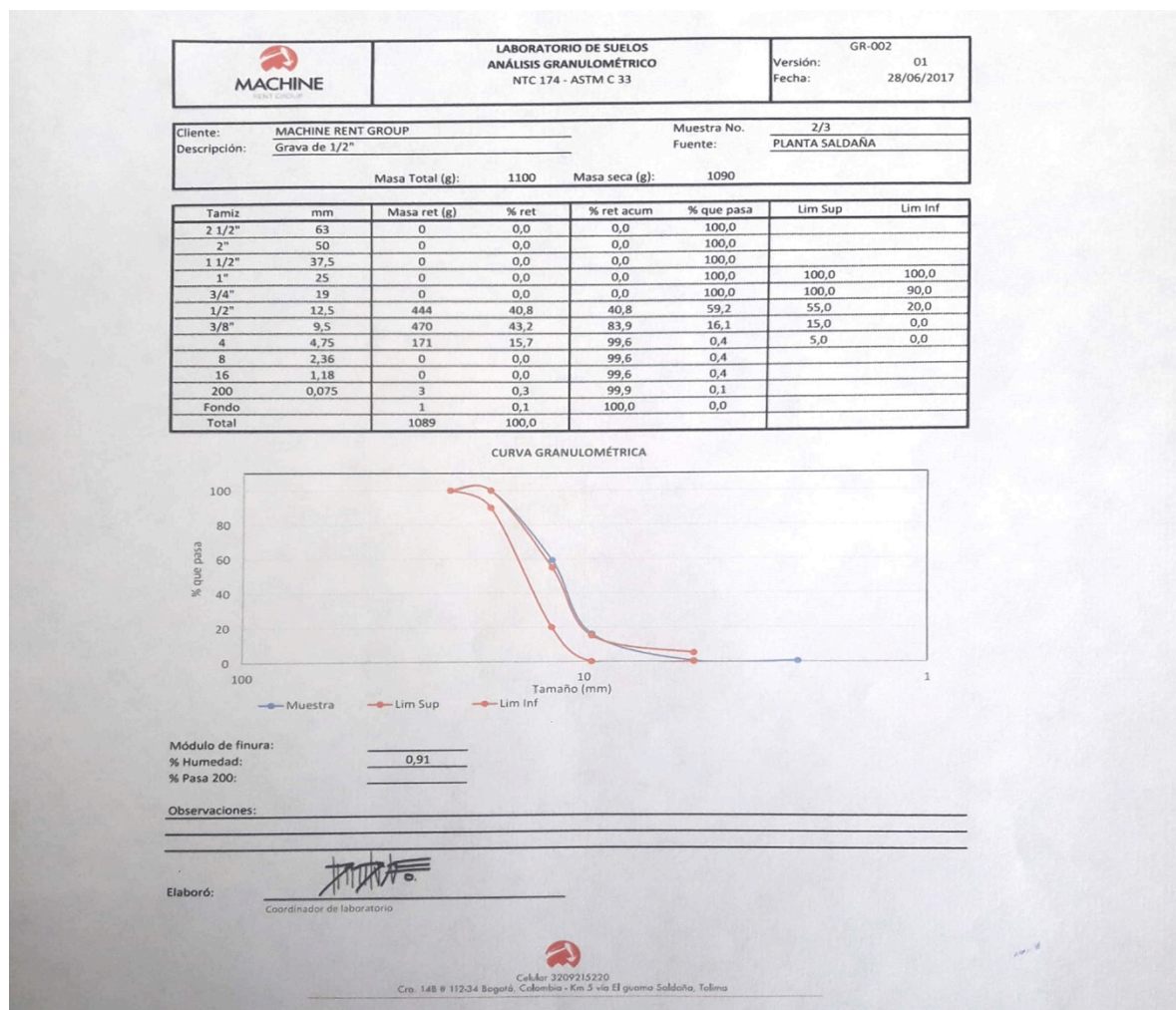


Figura 11. Imagen escaneada de la granulometría grava de la cantera Saldaña



La siguiente es la granulometría de la arena que sirvió para iniciar el proceso.

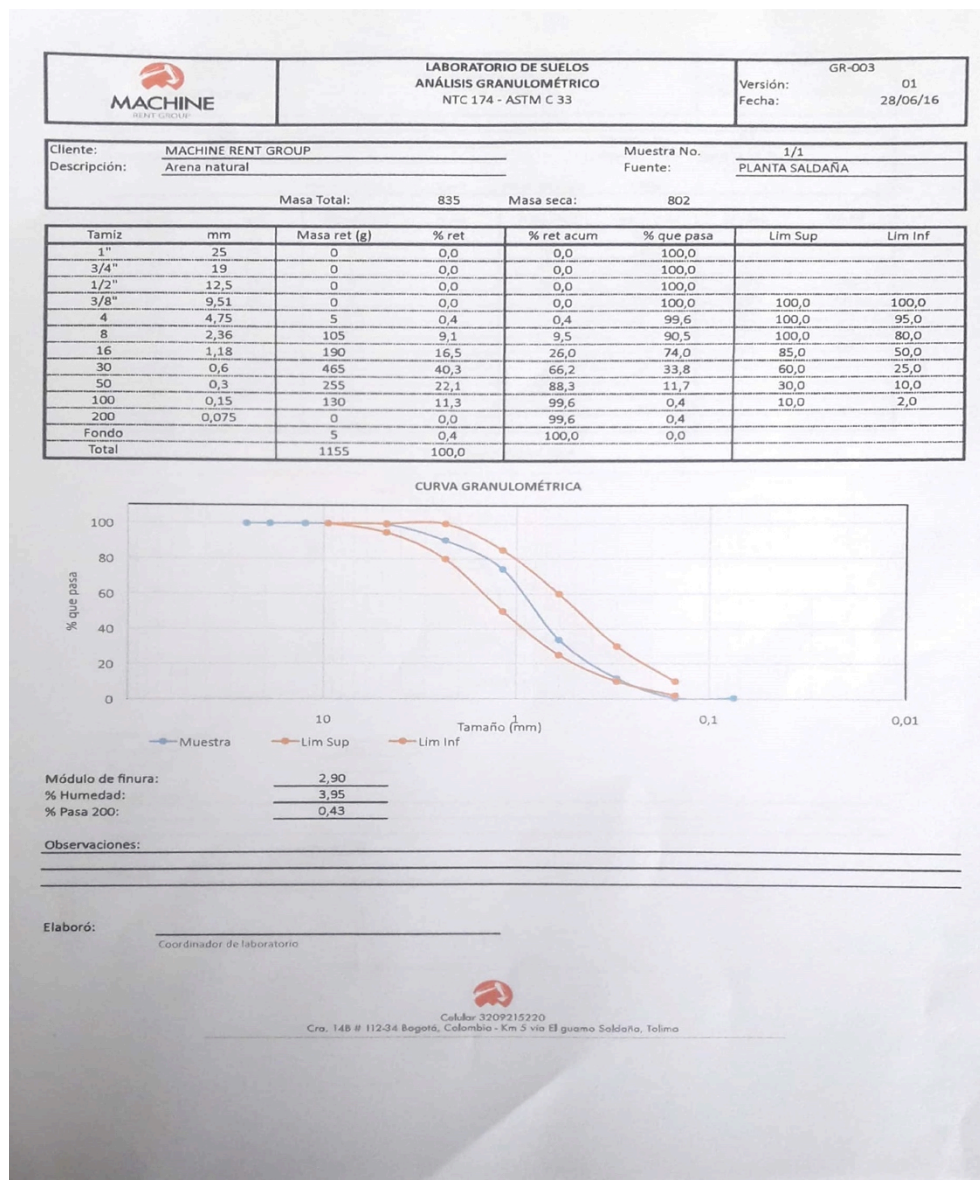


Figura 12. Imagen escaneada de la granulometría arena de la cantera Saldaña



Figura 13. Fotografía agregado grueso<sup>52</sup>



Figura 14. Fotografía agregado fino.<sup>53</sup>

---

<sup>52</sup> Fuente: imágenes propias.

<sup>53</sup> Ibid

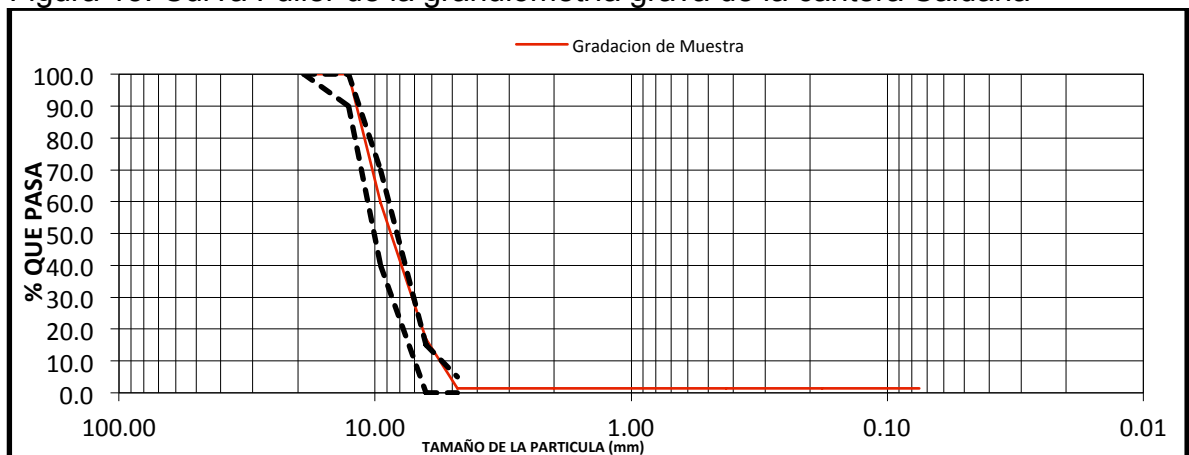
### 8.5.2 CONFIRMACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA.

La granulometría de la grava la compare con la especificación INVIAS.

Tabla 3. Granulometría de la grava.

GRADACION GRAVA VS ESPECIFICACIÓN INVIAS						
P1=	1,100	P2=	1,090.0		ESPECIFICACION	
Tamiz	Tamiz mm	Peso Ret.	% Retenido	% Pasa	INVIAS	
1"	19.00	0.0	0	100.0	100.0	100.0
3/4"	12.70	0.0	0.0	100.0	90.0	100.0
1/2"	9.51	444.0	40.4	59.6	40	70
3/8"	6.34	470.0	42.7	16.9	0	15
N° 4	4.76	171.0	15.5	1.4	0	5
N° 8	2.00	0.0	0.0	1.4		
N° 16	0.425	0.0	0.0	1.4		
N° 30	0.180	0.0	0.0	1.4		
N° 50	0.075	0.0	0.0	1.4		
P 200	0.000	3.0	1.2	0.2		

Figura 15. Curva Fuller de la granulometría grava de la cantera Saldaña

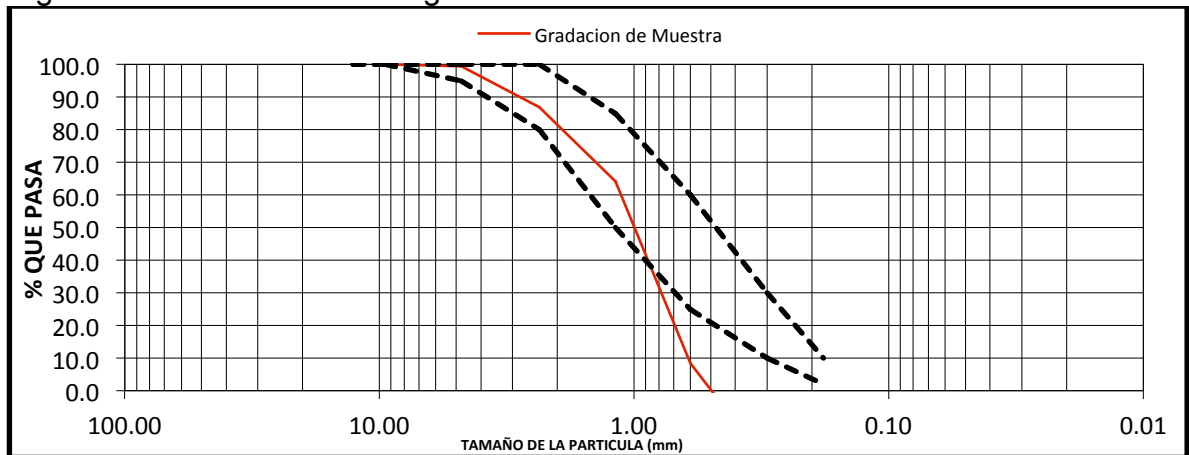


La granulometría de la arena se comparo con la especificación INVIAS.

Tabla 4. Granulometría de la arena.

GRADACION ARENA						
P1=	835	P2=	1,155.0		ESPECIFICACION	
Tamiz	Tamiz mm	Peso Ret.	% Retenido	% Pasa	INVIAS	
1/2"	12.7		0	100.0	100.0	100.0
3/8"	9.51		0.0	100.0	100	100
N° 4	4.76	5.0	0.6	99.4	95	100
N° 8	2.36	105.0	12.6	86.8	80	100
N° 16	1.18	190.0	22.8	64.1	50	85
N° 30	0.60	465.0	55.7	8.4	25	60
N° 50	0.30	255.0	30.5	-22.2	10	30
N° 100	0.180	130.0	15.6	-37.7	2	10
N° 200	0.075	0.0	0.0	-37.7		
P 200	0.000	5.0	-37.7	0.0		

Figura 16. Curva Fuller de la granulometría arena de la cantera Saldaña



Finalmente se acepto la granulometría para iniciar el diseño de la mezcla de concreto.

### 8.5.3 CARACTERISTICAS FISICAS DE LOS AGREGADOS.

Tabla 5. Características físicas de la grava.<sup>54</sup>

Grava 3/4 y grava 1/2 cantera Saldaña

1. Granulometría: Ver gráficos anexos

	Grava 3/4	Grava 1/2
2. Tamaño máximo mm:	38	19
3. Tamaño máximo nominal mm:	25	19
4. Pasa tamiz 0,075 mm (No. 200) %:	0,1	0,2
5. Absorción %:	0,74	0,93
6. Densidad aparente g/cm <sup>3</sup> :	2,65	2,62
7. Densidad sss g/cm <sup>3</sup> :	2,67	2,65
8. Densidad nominal g/cm <sup>3</sup> :	2,70	2,69

Tabla 6. Características físicas de la arena.<sup>55</sup>

	Arena
5. Absorción %:	1,32
6. Densidad aparente g/cm <sup>3</sup> :	2,62
7. Densidad sss g/cm <sup>3</sup> :	2,66
8. Densidad nominal g/cm <sup>3</sup> :	2,72
9. Masa unitaria suelta sss kg/m <sup>3</sup> :	1580
10. Masa unitaria apisonada sss kg/m <sup>3</sup> :	1760
11. Vacíos en agregado suelto %:	40
12. Vacíos en agregado compacto %:	33
13. Equivalente de arena %:	77
14. Partículas deleznales %:	0,8
15. Partículas livianas %:	0,1
16. Solidez % de perdida:	3

<sup>54</sup> Fuente Planta de agregados Saldaña

<sup>55</sup> Fuente Planta de agregados Saldaña



### 8.5.4 DISEÑO DE MEZCLA

Tabla 7. Datos para diseño de mezcla.

% de Materiales	Materiales	Masa (seca)	Densidad bulk	Volumen
		(kg)	(kg/lt)	
	Cemento tipo 1	450	3.00	150
	Agua	200	1.00	200
51%	Arena	974	2.67	365
49%	Grava 12.5 mm (1/2")	919	2.65	347
	Grava 19 mm (3/4")	0	0.00	0
0%		0	0.00	0
	Aire Incorporado	1.0%		10
2%	Sikafluid	6.75	1.22	5.53

1077

Relación A/C	0.44
Agua Humedad	6.40%
Densidad teórica	2.571 kg/L
Densidad ponderada (agre)	2.66
Absorción ponderada (agre)	1.13%
Volumen sin agregados (lt)	365.5
Volumen de agregados(lt)	634.5
Densidad ponderada (agre)	2.66
Peso total agregados (kg)	1688
Agua absorbida	
arena	12.9
Agua absorbida grava (3/4")	8.5
Agua absorbida grava (1 1/2")	0.0

Tabla 8. Diseño definitivo de mezcla.

Volumen de concreto por cada viga					
	<b>4</b>	Its			
Materiales	Masa (seca)	Humedad (%)	Absorción (%)	Masa (kg)	Agua Corregida (lt)
	(kg)				
Cemento tipo 1	1.7			<b>1.73</b>	
Agua	0.8			<b>0.77</b>	
Arena	3.8	0.81%	1.32%	<b>3.78</b>	0.02
Grava 12.5 mm (1/2")	3.5	0.91%	0.93%	<b>3.57</b>	0.00
Grava 19 mm (3/4")	0.0			<b>0.00</b>	0.00
	0.0			<b>0.00</b>	0.00
Aire Incorporado					
<b>Sikafluid</b>	0.026			<b>0.026</b>	
	<b>0.000</b>	Its			<b>0.79</b>

Densidad Teórica 2571 Tn/m3

Rendimiento Volumétrico \_\_\_\_\_

A/C Final	<b>0.44</b>
-----------	-------------

Se cálculo el volúmen de concreto para una viga.

Tabla 9. Cálculo del volúmen unitario de concreto para diseño.

LARGO	0.35	m.
BASE	0.1	m.
ANCHO	0.1	m.
VOL	0.0035	m3.
<b>CANT</b>	1	Und.
<b>VOL TOTAL</b>	0.0035	m3.
<b>VOL TOTAL</b>	3.5	Lt.
<b>DESPERDICIO</b>	10%	.
<b>VOL DESP</b>	0.35	Lt.
<b>VOLUMEN REAL</b>	4	Lt.
<b>MACROREFUERZO</b>	0.02695	Kg.

### 8.5.5 FABRICACIÓN DE VIGUETAS

Figura 17. Pesado del cemento.



Figura 18. Pesado de la grava.



Figura 19. Pesado de la arena.



Figura 20. Mezclado de materiales.





Figura 21. Incorporación de la fibra.



Figura 22. Incorporación de la fibra.



Figura 23. Asentamiento sin fibra.



Figura 24. Asentamiento con fibra.



Figura 25. Moldes de viguetas.



Figura 26. Concreto fibroreforzado.



### 8.5.6 EJECUCIÓN DEL ENSAYO

Figura 27. Montaje viga sobre platina.

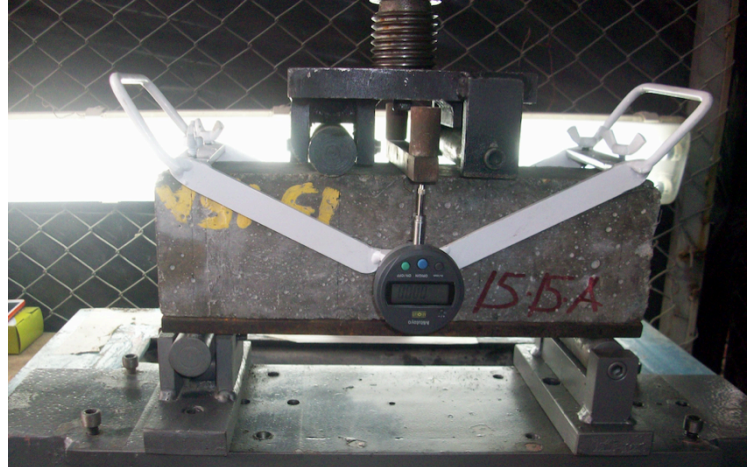


Figura 28. Fisuración controlada.



Figura 29. Viga fibroreforzada fallada.





### 8.5.7 CONFIGURACIÓN DE VIGAS

Tabla 10. Cuadro de vigas.

VIGA	REFERENCIA	CONCRETO (Mpa)	DOSIFICACIÓN FIBRA SINTÉTICA (kg/m3)	VOL CONCRETO (M3)	VOL CONCRETO (LITROS)	PESO FIBRA (KG)
15-15A	TESTIGO SIN FIBRA	MR 4.3	0.0	0.00385	3.85	0.00000
15-15B	TESTIGO SIN FIBRA	MR 4.3	0.0	0.00385	3.85	0.00000
15-15C	TESTIGO SIN FIBRA	MR 4.3	0.0	0.00385	3.85	0.00000
15-16A	REFORZADA CON FIBRA	MR 4.3	2.0	0.00385	3.85	0.00770
15-16B	REFORZADA CON FIBRA	MR 4.3	2.0	0.00385	3.85	0.00770
15-16C	REFORZADA CON FIBRA	MR 4.3	2.0	0.00385	3.85	0.00770
15-17A	REFORZADA CON FIBRA	MR 4.3	3.0	0.00385	3.85	0.01155
15-17B	REFORZADA CON FIBRA	MR 4.3	3.0	0.00385	3.85	0.01155
15-17C	REFORZADA CON FIBRA	MR 4.3	3.0	0.00385	3.85	0.01155
15-18A	REFORZADA CON FIBRA	MR 4.3	4.0	0.00385	3.85	0.01540
15-18B	REFORZADA CON FIBRA	MR 4.3	4.0	0.00385	3.85	0.01540
15-18C	REFORZADA CON FIBRA	MR 4.3	4.0	0.00385	3.85	0.01540

### 8.5.8 RESULTADOS OBTENIDOS

Para las diferentes muestras se realizó los cálculos correspondientes aplicando el siguiente procedimiento:

- Se realiza la suma algebraica de las cargas registradas en las desviaciones especificadas: PA+PB+PC+PD
- Se obtiene el valor k proveniente de la sección de las vigas prismáticas sometidas al ensayo:  $k=L/bd^2$ , donde : L= Longitud de la luz libre (mm) b= Ancho promedio de la viga (mm) d= Altura promedio de la viga (mm).
- Se obtiene el esfuerzo residual promedio mediante la fórmula:

$$ERP = ((PA+PB+PC+PD)/4)*k$$

Figura 30. Esquema de medición de las vigas.

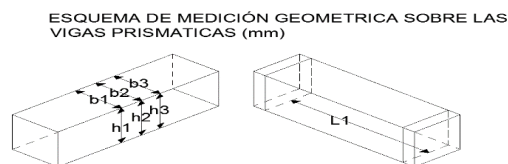


Tabla 11. Cuadro de resultados viga 15-15A.

FORMATO PARA REGISTRO DE DATOS DE LABORATORIO				Versión: 1																			
NORMA: ASTM C 1399-10				Página: 1 de 2																			
FECHA DE ENSAYO	DD	MM	AA	NOMBRE DE LA VIGA	15-15A TESTIGO																		
	Thursday, September 21, 17																						
DATOS GEOMETRICOS DE LA VIGA PRISMATICA																							
ALTURA 1 (h1)	103.13	mm	BASE 1 (b1)	102.73	mm																		
ALTURA 2 (h2)	102.93	mm	BASE 2 (b2)	103.29	mm																		
ALTURA 3 (h3)	102.74	mm	BASE 3 (b3)	103.04	mm																		
LONGITUD 1 (L1) ENTRE APOYOS	300.00	mm	ALTURA PROMEDIO	102.93	mm																		
			BASE PROMEDIO	103.02	mm																		
DATOS REGISTRADOS DE LA PRUEBA DE ENSAYO																							
DATOS REGISTRADOS DE LA FISURACIÓN																							
DEFORMIMETRO 1	DEFORMIMETRO 2		CARGA (KN)																				
FRONTAL p1 (mm)	POSTERIOR p2 (mm)		(KN)																				
0.001	0.002		9.24																				
NO > 0,200	NO > 0,200																						
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA RESIDUAL (ARS) EN LAS DEFLEXIONES ESPECIFICADAS																							
DEFLEXIÓN DE LA VIGA (mm)		TENSIÓN RESIDUAL (Mpa)																					
0.01		0.90																					
0.75		0.00																					
1.00		0.00																					
1.25		0.00																					
RESISTENCIA RESIDUAL PROMEDIO (ARS) (Mpa)		0.23																					
GRAFICO DE LA CURVA CARGA VS DEFORMACIÓN																							
<p>Curva carga(N) vs deformación(mm) Carga (N)</p> <table border="1"> <caption>Datos estimados del gráfico de carga vs deformación</caption> <thead> <tr> <th>Deformación Central (mm)</th> <th>Carga (N)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.000</td><td>0</td></tr> <tr><td>0.005</td><td>3500</td></tr> <tr><td>0.010</td><td>5500</td></tr> <tr><td>0.015</td><td>7000</td></tr> <tr><td>0.020</td><td>8000</td></tr> <tr><td>0.025</td><td>9000</td></tr> <tr><td>0.030</td><td>9000</td></tr> <tr><td>0.035</td><td>9000</td></tr> </tbody> </table>						Deformación Central (mm)	Carga (N)	0.000	0	0.005	3500	0.010	5500	0.015	7000	0.020	8000	0.025	9000	0.030	9000	0.035	9000
Deformación Central (mm)	Carga (N)																						
0.000	0																						
0.005	3500																						
0.010	5500																						
0.015	7000																						
0.020	8000																						
0.025	9000																						
0.030	9000																						
0.035	9000																						

Tabla 12. Cuadro de resultados viga 15-15B.

FORMATO PARA REGISTRO DE DATOS DE LABORATORIO				Versión: 1	
NORMA: ASTM C 1399-10				Página: 1 de 2	
FECHA DE ENSAYO	DD	MM	AA	NOMBRE DE LA VIGA	15-15B TESTIGO
	Thursday, September 21, 17				
DATOS GEOMETRICOS DE LA VIGA PRISMATICA					
ALTURA 1 (h1)	102.20	mm		BASE 1 (b1)	103.34 mm
ALTURA 2 (h2)	102.33	mm		BASE 2 (b2)	103.16 mm
ALTURA 3 (h3)	102.86	mm		BASE 3 (b3)	103.83 mm
LONGITUD 1 (L1) ENTRE APOYOS	300.00	mm		ALTURA PROMEDIO	102.36 mm
				BASE PROMEDIO	103.44 mm
DATOS REGISTRADOS DE LA PRUEBA DE ENSAYO					
DATOS REGISTRADOS DE LA FISURACION					
DEFORMIMETRO 1	DEFORMIMETRO 2		CARGA (KN)		
FRONTAL $\rho_1$ (mm)	POSTERIOR $\rho_2$ (mm)		(KN)		
0.030	0.030		11.14		
NO > 0,200	NO > 0,200				
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA RESIDUAL (ARS) EN LAS DEFLEXIONES ESPECIFICADAS					
DEFLEXIÓN DE LA VIGA (mm)		TENSIÓN RESIDUAL (Mpa)			
0.01		0.76			
0.75		0.00			
1.00		0.00			
1.25		0.00			
RESISTENCIA RESIDUAL PROMEDIO (ARS) (Mpa)		0.19			
GRAFICO DE LA CURVA CARGA VS DEFORMACION					
<p>Curva carga(N) vs deformación(mm) Carga (N)</p> <p>CARGA (N)</p> <p>DEFORMACIÓN CENTRAL (mm)</p>					

FORMATO PARA REGISTRO DE DATOS DE LABORATORIO				Versión: 1
NORMA: ASTM C 1399-10				Página: 1 de 2
FECHA DE ENSAYO	DD	MM	AA	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>NOMBRE DE LA VIGA</div> <div>15-15C TESTIGO</div> </div>
	Thursday, September 21, 17			
DATOS GEOMETRICOS DE LA VIGA PRISMATICA				
ALTURA 1 (h1)	102.91	mm	BASE 1 (b1)	101.41 mm
ALTURA 2 (h2)	103.25	mm	BASE 2 (b2)	101.66 mm
ALTURA 3 (h3)	103.63	mm	BASE 3 (b3)	101.95 mm
LONGITUD 1 (L1) ENTRE APOYOS	300.00	mm	ALTURA PROMEDIO	103.26 mm
			BASE PROMEDIO	101.67 mm
DATOS REGISTRADOS DE LA PRUEBA DE ENSAYO				
DATOS REGISTRADOS DE LA FISURACION				
DEFORMIMETRO 1	DEFORMIMETRO 2	CARGA (KN)		
FRONTAL p1 (mm)	POSTERIOR p2 (mm)	(KN)		
0.028	0.023	9.39		
NO > 0,200	NO > 0,200			
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA RESIDUAL (ARS) EN LAS DEFLEXIONES ESPECIFICADAS				
DEFLEXIÓN DE LA VIGA (mm)		TENSIÓN RESIDUAL (Mpa)		
0.01		0.80		
0.75		0.00		
1.00		0.00		
1.25		0.00		
RESISTENCIA RESIDUAL PROMEDIO (ARS) (Mpa)		0.20		
GRAFICO DE LA CURVA CARGA VS DEFORMACIÓN				
<p><b>Curva carga(N) vs deformación(mm) Carga (N)</b></p>				

Tabla 14. Cuadro de resultados viga 15-16A.

				FORMATO PARA REGISTRO DE DATOS DE LABORATORIO					
				NORMA: ASTM C 1399-10		VERSION. 0			
FECHA DE ENSAYO	DD		MM		AA		NOMBRE DE LA VIGA	15-16A 2 KG/M3	
Thursday, September 21, 17									
DATOS GEOMETRICOS DE LA VIGA PRISMATICA									
ALTURA 1 (h1)			106.68		mm		BASE 1 (b1)	103.53	mm
ALTURA 2 (h2)			102.66		mm		BASE 2 (b2)	102.82	mm
ALTURA 3 (h3)			102.69		mm		BASE 3 (b3)	105.35	mm
LONGITUD 1 (L1) ENTRE APOYOS			300.00		mm		ALTURA PROMEDIO	104.01	mm
							BASE PROMEDIO	103.90	mm

DATOS REGISTRADOS DE LA FISURACIÓN		
DEFORMIMETRO 1	DEFORMIMETRO 2	CARGA (KN)
FRONTAL p1 (mm)	POSTERIOR p2 (mm)	(KN)
0.105	0.19	18.13
NO > 0,200	NO > 0,200	

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA RESIDUAL (ARS) EN LAS DEFLEXIONES ESPECIFICADAS	
DEFLEXIÓN DE LA VIGA (mm)	TENSIÓN RESIDUAL (Mpa)
0.50	2.18
0.75	2.17
1.00	2.18
1.25	2.18
RESISTENCIA RESIDUAL PROMEDIO (ARS) (Mpa)	2.18

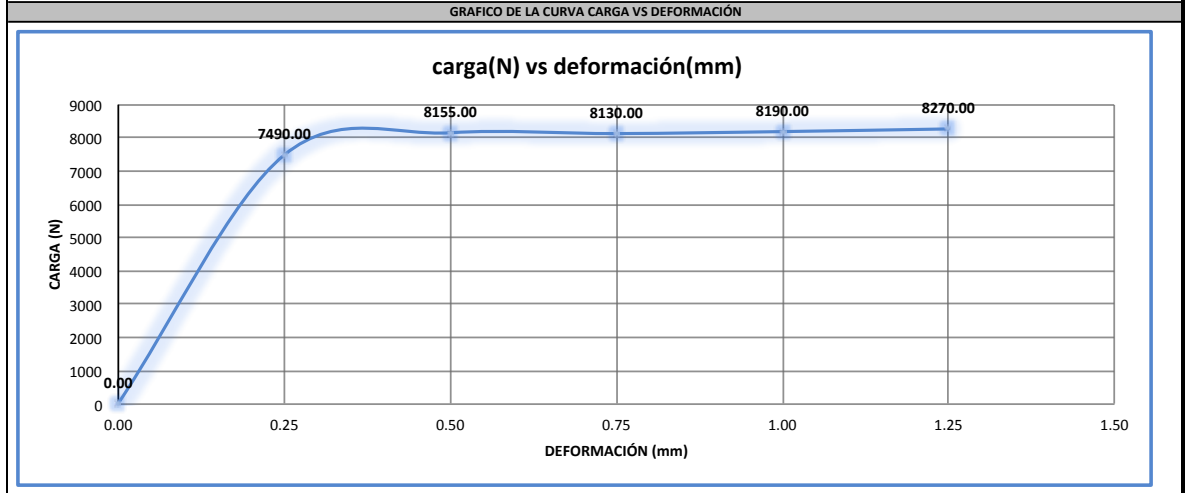


Tabla 15. Cuadro de resultados viga 15-16B.

				FORMATO PARA REGISTRO DE DATOS DE LABORATORIO																	
				NORMA: ASTM C 1399-10		VERSION. 0															
FECHA DE ENSAYO	DD	MM	AA	NOMBRE DE LA VIGA		15-16B 2 KG/M3															
Thursday, September 21, 17																					
DATOS GEOMETRICOS DE LA VIGA PRISMATICA																					
ALTURA 1 (h1)	100.34	mm		BASE 1 (b1)	100.36	mm															
ALTURA 2 (h2)	101.32	mm		BASE 2 (b2)	101.34	mm															
ALTURA 3 (h3)	101.30	mm		BASE 3 (b3)	101.29	mm															
LONGITUD 1 (L1) ENTRE APOYOS	300.00	mm		ALTURA PROMEDIO	100.99	mm															
				BASE PROMEDIO	101.00	mm															
DATOS REGISTRADOS DE LA PRUEBA DE ENSAYO																					
DATOS REGISTRADOS DE LA FISURACIÓN																					
DEFORMIMETRO 1		DEFORMIMETRO 2		CARGA (KN)																	
FRONTAL p1 (mm)		POSTERIOR p2 (mm)		(KN)																	
0.05		0.126		14.05																	
NO > 0,200		NO > 0,200																			
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA RESIDUAL (ARS) EN LAS DEFLEXIONES ESPECIFICADAS																					
DEFLEXIÓN DE LA VIGA (mm)				TENSION RESIDUAL (Mpa)																	
0.50				1.79																	
0.75				1.86																	
1.00				1.94																	
1.25				2.01																	
RESISTENCIA RESIDUAL PROMEDIO (ARS) (Mpa)				1.90																	
GRAFICO DE LA CURVA CARGA VS DEFORMACIÓN																					
<p><b>carga(N) vs deformación(mm)</b></p> <p>The graph displays the relationship between load (N) on the y-axis and deformation (mm) on the x-axis. The curve starts at the origin (0.00, 0.00) and rises steeply, then levels off as it approaches a deformation of 1.25 mm. The data points are as follows:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Deformación (mm)</th> <th>Carga (N)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.00</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>0.25</td> <td>5170.00</td> </tr> <tr> <td>0.50</td> <td>6130.00</td> </tr> <tr> <td>0.75</td> <td>6660.00</td> </tr> <tr> <td>1.00</td> <td>7225.00</td> </tr> <tr> <td>1.25</td> <td>7605.00</td> </tr> </tbody> </table>								Deformación (mm)	Carga (N)	0.00	0.00	0.25	5170.00	0.50	6130.00	0.75	6660.00	1.00	7225.00	1.25	7605.00
Deformación (mm)	Carga (N)																				
0.00	0.00																				
0.25	5170.00																				
0.50	6130.00																				
0.75	6660.00																				
1.00	7225.00																				
1.25	7605.00																				



Tabla 16. Cuadro de resultados viga 15-16C.

FORMATO PARA REGISTRO DE DATOS DE LABORATORIO				Versión: 1															
NORMA: ASTM C 1399-10				Página: 1 de 2															
FECHA DE ENSAYO	DD	MM	AA	NOMBRE DE LA VIGA	15-16C 2 KG/M3														
	Thursday, September 21, 17																		
DATOS GEOMETRICOS DE LA VIGA PRISMATICA																			
ALTURA 1 (h1)	100.90	mm	BASE 1 (b1)	100.8	mm														
ALTURA 2 (h2)	100.87	mm	BASE 2 (b2)	100.61	mm														
ALTURA 3 (h3)	100.62	mm	BASE 3 (b3)	100.52	mm														
LONGITUD 1 (L1) ENTRE APOYOS	300.00	mm	ALTURA PROMEDIO	100.80	mm														
			BASE PROMEDIO	100.64	mm														
DATOS REGISTRADOS DE LA PRUEBA DE ENSAYO																			
DATOS REGISTRADOS DE LA FISURACIÓN																			
DEFORMIMETRO 1	DEFORMIMETRO 2		CARGA (KN)																
FRONTAL p1 (mm)	POSTERIOR p2 (mm)		(KN)																
0.051	0.056		18.69																
NO > 0,200		NO > 0,200																	
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA RESIDUAL (ARS) EN LAS DEFLEXIONES ESPECIFICADAS																			
DEFLEXIÓN DE LA VIGA (mm)		TENSION RESIDUAL (Mpa)																	
0.50		2.15																	
0.75		2.18																	
1.00		2.21																	
1.25		2.24																	
RESISTENCIA RESIDUAL PROMEDIO (ARS) (Mpa)		2.20																	
GRAFICO DE LA CURVA CARGA VS DEFORMACION																			
<p>Curva carga(N) vs deformación(mm) Carga (N)</p> <table border="1"> <caption>Datos del gráfico de carga vs deformación</caption> <thead> <tr> <th>Deformación Central (mm)</th> <th>Carga (N)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.00</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>0.25</td> <td>7135.00</td> </tr> <tr> <td>0.50</td> <td>7345.00</td> </tr> <tr> <td>0.75</td> <td>7505.00</td> </tr> <tr> <td>1.00</td> <td>7745.00</td> </tr> <tr> <td>1.25</td> <td>7940.00</td> </tr> </tbody> </table>						Deformación Central (mm)	Carga (N)	0.00	0.00	0.25	7135.00	0.50	7345.00	0.75	7505.00	1.00	7745.00	1.25	7940.00
Deformación Central (mm)	Carga (N)																		
0.00	0.00																		
0.25	7135.00																		
0.50	7345.00																		
0.75	7505.00																		
1.00	7745.00																		
1.25	7940.00																		

Tabla 17. Cuadro de resultados viga 15-17A.

				FORMATO PARA REGISTRO DE DATOS DE LABORATORIO																	
				NORMA: ASTM C 1399-10		VERSION. 0															
FECHA DE ENSAYO	DD	MM	AA			NOMBRE DE LA VIGA	15-17A 3 KG/M3														
	Thursday, September 21, 17																				
DATOS GEOMETRICOS DE LA VIGA PRISMATICA																					
ALTURA 1 (h1)	102.88	mm		BASE 1 (b1)	105.28	mm															
ALTURA 2 (h2)	102.91	mm		BASE 2 (b2)	106.14	mm															
ALTURA 3 (h3)	102.27	mm		BASE 3 (b3)	106.13	mm															
LONGITUD 1 (L1) ENTRE APOYOS	300.00	mm		ALTURA PROMEDIO	102.69	mm															
				BASE PROMEDIO	105.85	mm															
DATOS REGISTRADOS DE LA PRUEBA DE ENSAYO																					
DATOS REGISTRADOS DE LA FISURACIÓN																					
DEFORMIMETRO 1		DEFORMIMETRO 2		CARGA (KN)																	
FRONTAL p1 (mm)		POSTERIOR p2 (mm)		(KN)																	
0.007		0.009		21.81																	
NO > 0,200		NO > 0,200																			
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA RESIDUAL (ARS) EN LAS DEFLEXIONES ESPECIFICADAS																					
DEFLEXIÓN DE LA VIGA (mm)				TENSIÓN RESIDUAL (Mpa)																	
0.50				3.38																	
0.75				3.56																	
1.00				3.71																	
1.25				3.81																	
RESISTENCIA RESIDUAL PROMEDIO (ARS) (Mpa)				3.61																	
GRAFICO DE LA CURVA CARGA VS DEFORMACIÓN																					
<p>carga(N) vs deformación(mm)</p> <p>The graph displays the relationship between load and deformation for the beam. The x-axis represents deformation in millimeters (mm), ranging from 0.00 to 1.50. The y-axis represents load in Newtons (N), ranging from 0 to 16000. The curve starts at the origin (0.00, 0.00) and shows a non-linear increase in load with deformation, reaching a peak load of 15210.00 N at a deformation of 1.25 mm.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>DEFORMACIÓN (mm)</th> <th>CARGA (N)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.00</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>0.25</td> <td>10995.00</td> </tr> <tr> <td>0.50</td> <td>12580.00</td> </tr> <tr> <td>0.75</td> <td>13890.00</td> </tr> <tr> <td>1.00</td> <td>14960.00</td> </tr> <tr> <td>1.25</td> <td>15210.00</td> </tr> </tbody> </table>								DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (N)	0.00	0.00	0.25	10995.00	0.50	12580.00	0.75	13890.00	1.00	14960.00	1.25	15210.00
DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (N)																				
0.00	0.00																				
0.25	10995.00																				
0.50	12580.00																				
0.75	13890.00																				
1.00	14960.00																				
1.25	15210.00																				

Tabla 18. Cuadro de resultados viga 15-17B.

			FORMATO PARA REGISTRO DE DATOS DE LABORATORIO						
			NORMA: ASTM C 1399-10			VERSION. 0			
FECHA DE ENSAYO		DD	MM	AA	NOMBRE DE LA VIGA		15-17B 3 KG/M3		
Thursday, September 21, 17									
DATOS GEOMETRICOS DE LA VIGA PRISMATICA									
ALTURA 1 (h1)		102.13		mm		BASE 1 (b1)		104.33	mm
ALTURA 2 (h2)		103.75		mm		BASE 2 (b2)		105.25	mm
ALTURA 3 (h3)		103.55		mm		BASE 3 (b3)		106.17	mm
LONGITUD 1 (L1) ENTRE APOYOS		300.00		mm		ALTURA PROMEDIO		103.14	mm
						BASE PROMEDIO		105.25	mm
DATOS REGISTRADOS DE LA PRUEBA DE ENSAYO									
DATOS REGISTRADOS DE LA FISURACIÓN									
DEFORMIMETRO 1		DEFORMIMETRO 2			CARGA (KN)				
FRONTAL ρ1 (mm)		POSTERIOR ρ2 (mm)			(KN)				
0.088		0.172			17.88				
NO > 0,200		NO > 0,200							
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA RESIDUAL (ARS) EN LAS DEFLEXIONES ESPECIFICADAS									
DEFLEXIÓN DE LA VIGA (mm)				TENSION RESIDUAL (Mpa)					
0.50				3.26					
0.75				3.40					
1.00				3.57					
1.25				3.70					
RESISTENCIA RESIDUAL PROMEDIO (ARS) (Mpa)				3.48					
GRAFICO DE LA CURVA CARGA VS DEFORMACIÓN									
Curva carga(N) vs deformación( mm)									

Tabla 19. Cuadro de resultados viga 15-17C.

FORMATO PARA REGISTRO DE DATOS DE LABORATORIO				Versión: 1															
NORMA: ASTM C 1399-10				Página: 1 de 2															
FECHA DE ENSAYO	DD	MM	AA	NOMBRE DE LA VIGA	15-17C 3 KG/M3														
	Thursday, September 21, 17																		
DATOS GEOMETRICOS DE LA VIGA PRISMATICA																			
ALTURA 1 (h1)	102.77	mm	BASE 1 (b1)	102.56	mm														
ALTURA 2 (h2)	102.46	mm	BASE 2 (b2)	102.15	mm														
ALTURA 3 (h3)	102.82	mm	BASE 3 (b3)	101.37	mm														
LONGITUD 1 (L1) ENTRE APOYOS	300.00	mm	ALTURA PROMEDIO	102.68	mm														
			BASE PROMEDIO	102.03	mm														
DATOS REGISTRADOS DE LA PRUEBA DE ENSAYO																			
DATOS REGISTRADOS DE LA FISURACIÓN																			
DEFORMIMETRO 1	DEFORMIMETRO 2		CARGA (KN)																
FRONTAL p1 (mm)	POSTERIOR p2 (mm)		(KN)																
0.181	0.169		20.88																
NO > 0,200	NO > 0,200																		
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA RESIDUAL (ARS) EN LAS DEFLEXIONES ESPECIFICADAS																			
DEFLEXION DE LA VIGA (mm)		TENSION RESIDUAL (Mpa)																	
0.50		3.18																	
0.75		3.23																	
1.00		3.28																	
1.25		3.32																	
RESISTENCIA RESIDUAL PROMEDIO (ARS) (Mpa)		3.25																	
GRAFICO DE LA CURVA CARGA VS DEFORMACIÓN																			
<p>Curva carga(N) vs deformación(mm) Carga (N)</p> <table border="1"> <caption>Datos del gráfico de carga vs deformación</caption> <thead> <tr> <th>Deformación Central (mm)</th> <th>Carga (N)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.00</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>0.25</td> <td>10780.00</td> </tr> <tr> <td>0.50</td> <td>11390.00</td> </tr> <tr> <td>0.75</td> <td>11790.00</td> </tr> <tr> <td>1.00</td> <td>12150.00</td> </tr> <tr> <td>1.25</td> <td>12285.00</td> </tr> </tbody> </table>						Deformación Central (mm)	Carga (N)	0.00	0.00	0.25	10780.00	0.50	11390.00	0.75	11790.00	1.00	12150.00	1.25	12285.00
Deformación Central (mm)	Carga (N)																		
0.00	0.00																		
0.25	10780.00																		
0.50	11390.00																		
0.75	11790.00																		
1.00	12150.00																		
1.25	12285.00																		

Tabla 20. Cuadro de resultados viga 15-18A.

				FORMATO PARA REGISTRO DE DATOS DE LABORATORIO																	
				NORMA: ASTM C 1399-10		VERSION. 0															
FECHA DE ENSAYO	DD	MM	AA			NOMBRE DE LA VIGA	15-18A 4 KG/M3														
Thursday, September 21, 17																					
DATOS GEOMETRICOS DE LA VIGA PRISMATICA																					
ALTURA 1 (h1)	99.42		mm		BASE 1 (b1)	105.69	mm														
ALTURA 2 (h2)	100.09		mm		BASE 2 (b2)	105.02	mm														
ALTURA 3 (h3)	102.45		mm		BASE 3 (b3)	105.12	mm														
LONGITUD 1 (L1) ENTRE APOYOS	300.00		mm		ALTURA PROMEDIO	100.65	mm														
					BASE PROMEDIO	105.28	mm														
DATOS REGISTRADOS DE LA PRUEBA DE ENSAYO																					
DATOS REGISTRADOS DE LA FISURACIÓN																					
DEFORMIMETRO 1		DEFORMIMETRO 2		CARGA (KN)																	
FRONTAL p1 (mm)		POSTERIOR p2 (mm)		(KN)																	
0.507		0.431		20.7																	
NO > 0,200		NO > 0,200																			
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA RESIDUAL (ARS) EN LAS DEFLEXIONES ESPECIFICADAS																					
DEFLEXIÓN DE LA VIGA (mm)				TENSIÓN RESIDUAL (Mpa)																	
0.50				4.47																	
0.75				4.51																	
1.00				4.56																	
1.25				4.60																	
RESISTENCIA RESIDUAL PROMEDIO (ARS) (Mpa)				4.53																	
GRÁFICO DE LA CURVA CARGA VS DEFORMACIÓN																					
<p>carga(N) vs deformación(mm)</p> <table border="1"> <caption>Datos del gráfico de carga vs deformación</caption> <thead> <tr> <th>Deformación (mm)</th> <th>Carga (N)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.00</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>0.25</td> <td>14560.00</td> </tr> <tr> <td>0.50</td> <td>15885.00</td> </tr> <tr> <td>0.75</td> <td>16160.00</td> </tr> <tr> <td>1.00</td> <td>16585.00</td> </tr> <tr> <td>1.25</td> <td>16745.00</td> </tr> </tbody> </table>								Deformación (mm)	Carga (N)	0.00	0.00	0.25	14560.00	0.50	15885.00	0.75	16160.00	1.00	16585.00	1.25	16745.00
Deformación (mm)	Carga (N)																				
0.00	0.00																				
0.25	14560.00																				
0.50	15885.00																				
0.75	16160.00																				
1.00	16585.00																				
1.25	16745.00																				

Tabla 21. Cuadro de resultados viga 15-18B.

				FORMATO PARA REGISTRO DE DATOS DE LABORATORIO			
				NORMA: ASTM C 1399-10		VERSION. 0	
FECHA DE ENSAYO	DD	MM	AA	NOMBRE DE LA VIGA			15-18B 4 KG/M3
Thursday, September 21, 17							
DATOS GEOMETRICOS DE LA VIGA PRISMATICA							
ALTURA 1 (h1)	101.90	mm		BASE 1 (b1)	105.1	mm	
ALTURA 2 (h2)	102.10	mm		BASE 2 (b2)	105.4	mm	
ALTURA 3 (h3)	102.00	mm		BASE 3 (b3)	104.1	mm	
LONGITUD 1 (L1) ENTRE APOYOS	300.00	mm		ALTURA PROMEDIO	102.00	mm	
				BASE PROMEDIO	104.87	mm	
DATOS REGISTRADOS DE LA PRUEBA DE ENSAYO							
DATOS REGISTRADOS DE LA FISURACIÓN							
DEFORMIMETRO 1		DEFORMIMETRO 2		CARGA (KN)			
FRONTAL p1 (mm)		POSTERIOR p2 (mm)		(KN)			
1.619		0.735		47.93			
NO > 0,200		NO > 0,200					
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA RESIDUAL (ARS) EN LAS DEFLEXIONES ESPECIFICADAS							
DEFLEXIÓN DE LA VIGA (mm)				TENSIÓN RESIDUAL (Mpa)			
0.50				3.59			
0.75				3.74			
1.00				3.90			
1.25				4.04			
RESISTENCIA RESIDUAL PROMEDIO (ARS) (Mpa)				3.82			
GRAFICO DE LA CURVA CARGA VS DEFORMACIÓN							
<p>carga(N) vs deformación(mm)</p> <p>The graph plots Load (N) on the y-axis (0 to 18000) against Deformation (mm) on the x-axis (0.00 to 1.50). The curve starts at (0.00, 0.00) and rises to (1.25, 16205.00). Key data points are labeled: (0.00, 0.00), (0.25, 12260.00), (0.50, 13045.00), (0.75, 14185.00), (1.00, 15345.00), and (1.25, 16205.00).</p>							

Tabla 22. Cuadro de resultados viga 15-18B.

				FORMATO PARA REGISTRO DE DATOS DE LABORATORIO																	
				NORMA: ASTM C 1399-10		VERSION. 0															
FECHA DE ENSAYO	DD	MM	AA			NOMBRE DE LA VIGA	15-18C 4 KG/M3														
	Thursday, September 21, 17																				
DATOS GEOMETRICOS DE LA VIGA PRISMATICA																					
ALTURA 1 (h1)	106.68	mm		BASE 1 (b1)	103.53	mm															
ALTURA 2 (h2)	102.66	mm		BASE 2 (b2)	102.82	mm															
ALTURA 3 (h3)	102.69	mm		BASE 3 (b3)	105.35	mm															
LONGITUD 1 (L1) ENTRE APOYOS	300.00	mm		ALTURA PROMEDIO	104.01	mm															
				BASE PROMEDIO	103.90	mm															
DATOS REGISTRADOS DE LA PRUEBA DE ENSAYO																					
DATOS REGISTRADOS DE LA FISURACIÓN																					
DEFORMIMETRO 1		DEFORMIMETRO 2		CARGA (KN)																	
FRONTAL p1 (mm)		POSTERIOR p2 (mm)		(KN)																	
1.21		0.93		49.03																	
NO > 0,200		NO > 0,200																			
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA RESIDUAL (ARS) EN LAS DEFLEXIONES ESPECIFICADAS																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th>DEFLEXIÓN DE LA VIGA (mm)</th> <th>TENSIÓN RESIDUAL (Mpa)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.50</td> <td>4.24</td> </tr> <tr> <td>0.75</td> <td>4.28</td> </tr> <tr> <td>1.00</td> <td>4.33</td> </tr> <tr> <td>1.25</td> <td>4.36</td> </tr> </tbody> </table>				DEFLEXIÓN DE LA VIGA (mm)	TENSIÓN RESIDUAL (Mpa)	0.50	4.24	0.75	4.28	1.00	4.33	1.25	4.36								
DEFLEXIÓN DE LA VIGA (mm)	TENSIÓN RESIDUAL (Mpa)																				
0.50	4.24																				
0.75	4.28																				
1.00	4.33																				
1.25	4.36																				
RESISTENCIA RESIDUAL PROMEDIO (ARS) (Mpa)				4.30																	
GRÁFICO DE LA CURVA CARGA VS DEFORMACIÓN																					
<p>carga(N) vs deformación(mm)</p> <table border="1"> <caption>Puntos de la curva carga vs deformación</caption> <thead> <tr> <th>Deformación (mm)</th> <th>Carga (N)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.00</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>0.25</td> <td>14560.00</td> </tr> <tr> <td>0.50</td> <td>15885.00</td> </tr> <tr> <td>0.75</td> <td>16160.00</td> </tr> <tr> <td>1.00</td> <td>16585.00</td> </tr> <tr> <td>1.25</td> <td>16745.00</td> </tr> </tbody> </table>								Deformación (mm)	Carga (N)	0.00	0.00	0.25	14560.00	0.50	15885.00	0.75	16160.00	1.00	16585.00	1.25	16745.00
Deformación (mm)	Carga (N)																				
0.00	0.00																				
0.25	14560.00																				
0.50	15885.00																				
0.75	16160.00																				
1.00	16585.00																				
1.25	16745.00																				

### 8.5.9 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Tabla 23. Cuadro cargas por deformación de vigas testigo (sin fibra).

DEFORMACION	TESTIGO A	TESTIGO B	TESTIGO C	PROMEDIO
$\rho$ (mm)	Carga (N)	Carga (N)	Carga (N)	Carga (N)
0	0	0	0	0
0.002	2390	1925	2335	2217
0.004	3285	2730	2888	2968
0.0075	4670	3965	3718	4118
0.0095	5260	4775	4272	4769
0.0115	5980	5625	4825	5477

Tabla 24. Cuadro cargas por deformación de vigas con dosis 2 Kg/m<sup>3</sup> de fibra.

DEFORMACION	2 KG A	2 KG B	2 KG C	PROMEDIO
$\rho$ (mm)	Carga (N)	Carga (N)	Carga (N)	Carga (N)
0	0	0	0	0
0.25	7490	5170	7135	6598
0.5	8155	6130	7345	7210
0.75	8130	6660	7505	7432
1	8190	7225	7745	7720
1.25	8270	7605	7940	7938

Tabla 25. Cuadro cargas por deformación de vigas con dosis 3 Kg/m<sup>3</sup> de fibra.

DEFORMACION	3 KG A	3 KG B	3 KG C	PROMEDIO
$\rho$ (mm)	Carga (N)	Carga (N)	Carga (N)	Carga (N)
0	0	0	0	0
0.25	10995	8770	10780	10182
0.5	12580	12165	11390	12045
0.75	13890	13215	11790	12965
1	14960	14575	12150	13895
1.25	15210	15250	12285	14248

Tabla 26. Cuadro cargas por deformación de vigas con dosis 4 Kg/m<sup>3</sup> de fibra.

DEFORMACION	4 KG A	4 KG B	4 KG C	PROMEDIO
$\rho$ (mm)	Carga (N)	Carga (N)	Carga (N)	Carga (N)
0	0	0	0	0
0.25	14560	12260	13410	13410
0.5	15885	13045	14465	14465
0.75	16160	14185	15172.5	15172.5
1	16585	15345	15965	15965
1.25	16745	16205	16475	16475



Figura 31. Gráfico Carga vs Deformación vigas testigo (sin fibra).

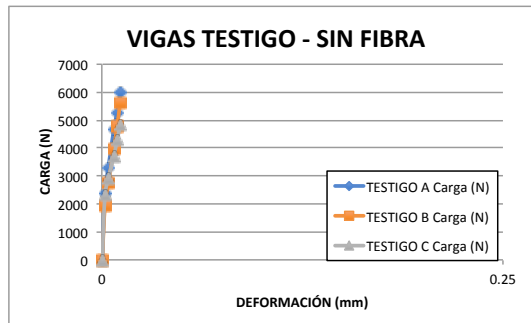


Figura 32. Gráfico Carga vs Deformación vigas con dosis 2 Kg/m3

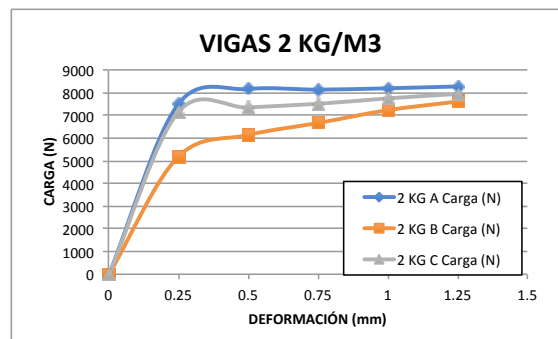


Figura 33. Gráfico Carga vs Deformación vigas con dosis 3 Kg/m3

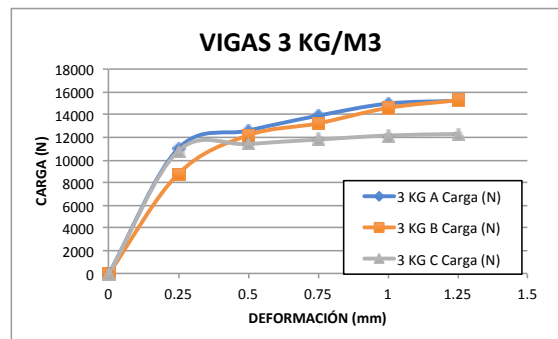


Figura 34. Gráfico Carga vs Deformación vigas con dosis 4 Kg/m3

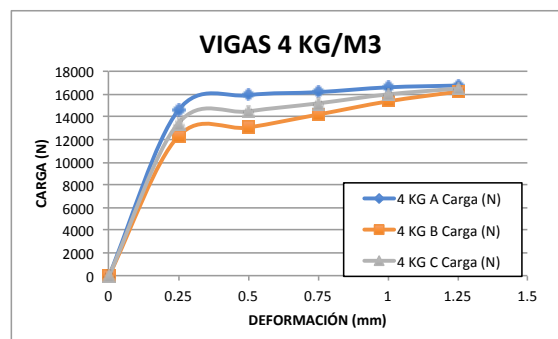


Tabla 27. Cuadro de resultados carga vs deformación promedio de vigas reforzadas con dosis de fibra de 2, 3 y 4 Kg/m<sup>3</sup>.

DEFORMACION	PROMEDIO 2 KG	PROMEDIO 3 KG	PROMEDIO 4 KG
$\rho$ (mm)	Carga (N)	Carga (N)	Carga (N)
0	0	0	0
0.25	6598	10182	13410
0.5	7210	12045	14465
0.75	7432	12965	15173
1	7720	13895	15965
1.25	7938	14248	16475

Figura 34. Gráfico de resultados carga vs deformación promedio de vigas reforzadas con dosis de fibra de 2, 3 y 4 Kg/m<sup>3</sup>.

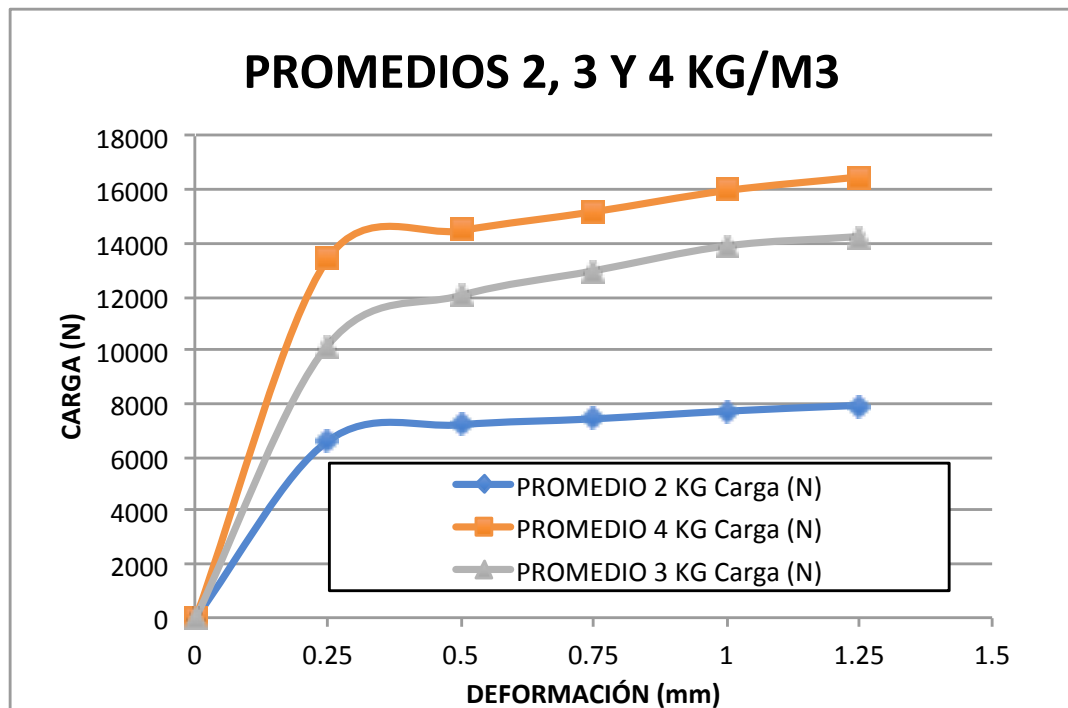


Tabla 28. Cuadro de resultados de ARS (Average Residual Strength) (Resistencia residual promedio) de vigas sin fibra y con dosis de fibra de 2, 3 y 4 Kg/m<sup>3</sup>.

DOSIS FIBRA (KG/M3)	ARS (MPA)
0.0	0.23
0.0	0.19
0.0	0.20
2.0	2.18
2.0	1.90
2.0	2.20
3.0	3.61
3.0	3.48
3.0	3.25
4.0	4.53
4.0	3.82
4.0	4.30

Figura 35. Gráfico de dosificación de fibra vs ARS (Average Residual Strength) (Resistencia residual promedio) de vigas sin fibra y con dosis de fibra

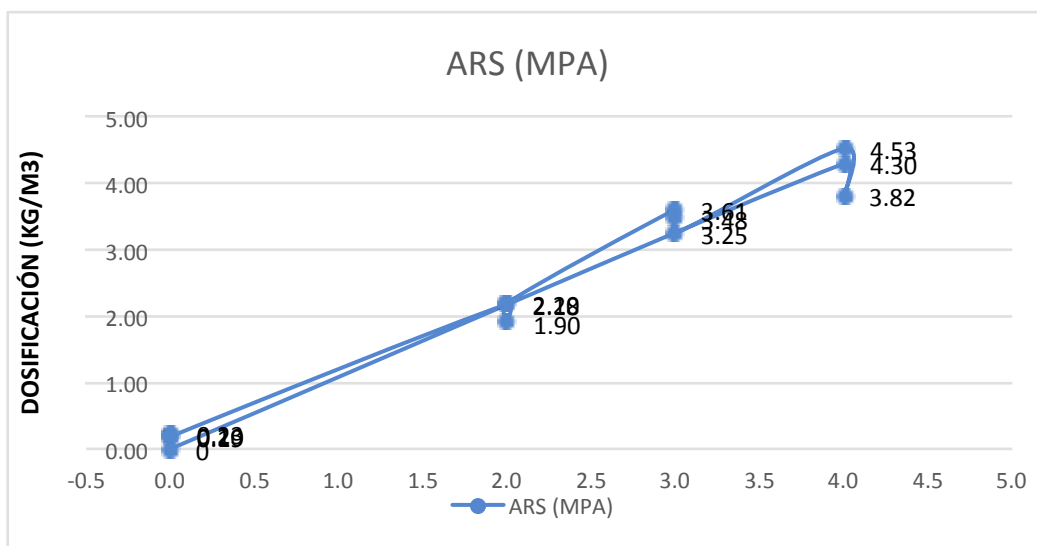
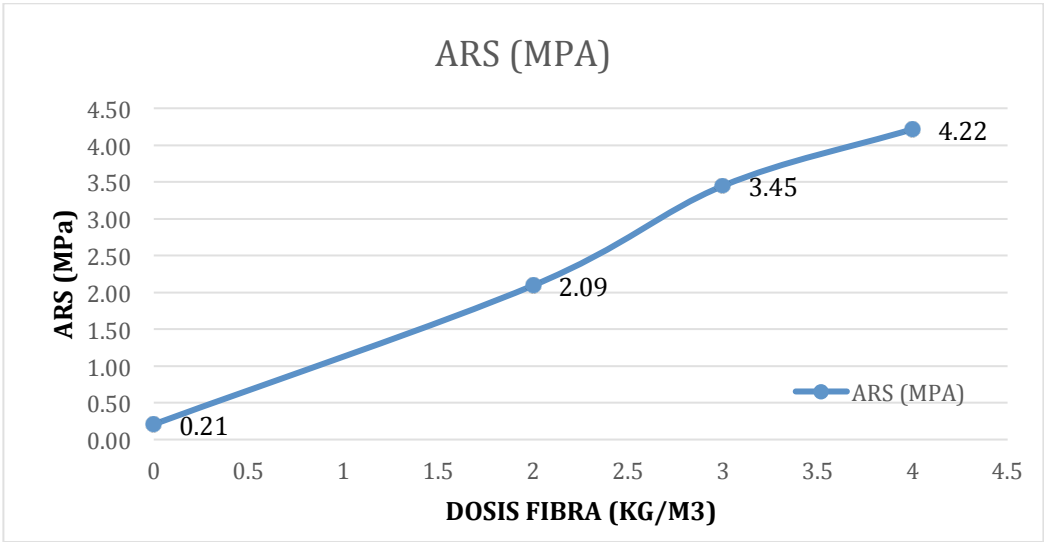


Tabla 29. Cuadro de resultados promedio de ARS (Average Residual Strength) (Resistencia residual promedio) de vigas sin fibra y con dosis de fibra de 2, 3 y 4 Kg/m3.

DOSIS FIBRA (KG/M3)	PROMEDIO ARS (MPA)
0	0.21
2	2.09
3	3.45
4	4.22

Figura 36. Gráfico de resultados promedio de ARS (Average Residual Strength) (Resistencia residual promedio) de vigas sin fibra y con dosis de fibra de 2, 3 y 4 Kg/m3.



## 9 CONCLUSIONES.

- De acuerdo a los resultados obtenidos en los ensayos de vigas prismáticas, se puede concluir que la variación en el valor del esfuerzo residual es creciente del orden potencial, ya que se encontró esta relación mediante el incremento de fibras en el concreto.
- Mediante el uso de fibras de polipropileno se reduce las pequeñas fisuras por contracción que se desarrollan en el concreto, durante las primeras 24 horas se originan por contracción plástica o por secado, la primera ocurre antes que el concreto alcance su endurecimiento inicial y la segunda ocurre después del endurecimiento del concreto, este concepto se concluye gracias a que con las fibras el concreto es mas ductil y la presencia de fisuras se obtiene a mayor esfuerzo.
- Se evidencio que la vida util del concreto aumenta en función de la fisuración cuando esta se ve reforzada con fibra sintética.
- Las fibras sintéticas son aplicables para usos no estructurales, las solicitaciones importantes deben ser asumidas por los refuerzos tradicionales, pero se debe tener en cuenta que las fibras sintéticas mejoran el comportamiento en casos de microfisuración ocasionada por efectos de temperatura, fraguado, endurecimiento o contracción y expansión térmica.
- Se evidencia que el incremento del valor del esfuerzo residual es del orden potencial, lo que nos lleva a concluir que los concretos fibro reforzados se comportaran de mejor forma que los concretos sin refuerzo, lo que nos ayudará en el tema de reduccion del mantenimiento rutinario y periódico de los pavimentos de concreto.
- La falla de las viguetas sin fibra evidencio que el concreto falla en 0.01 mm y con fibra fallan en promedio en 0,2 mm, lo que indica un leve aumento de la resistencia en la flexion a la fisuración.
- En un pavimento de concreto reforzado con fibras sintéticas presenten este tipo de fisura, continua trabajando por trabazón de agregados, gracias al puenteo que hace la fibra en la fisura, lo cual equivale a más tiempo en servicio y disminución en costos de mantenimiento o reparación total.

- La relación agua/cemento es el principal factor que se debe cuidar en el diseño de mezclas ya que afecta de manera directa a la contracción por secado, teniendo efectos negativos sobre el  $f_c$  de diseño así como las condiciones futuras del concreto.
- Es de vital importancia en el diseño de mezclas de concreto realizar ensayos abrasivos a los agregados donde determina si son o no aptos para la obra que se desea proyectar en función del trabajo de fricción a la que estará sometida.
- Este ensayo es importante porque con él puede conocerse la durabilidad y la resistencia que tendrá el concreto para la fabricación de losas, estructuras simples, pavimentos entre otras que requieran que la resistencia del concreto sea la adecuada para ellas, en función de los agregados empleados.

## **10 RECOMENDACIONES.**

- Es de vital importancia en el diseño de mezclas de concreto con fibras considerar plastificantes, superplastificantes o similares para obtener una mezcla fluida y poder darle trabajabilidad segura al vaciar la mezcla.
- Es recomendable el uso de macrofibras sintéticas para evitar la corrosión en el concreto y desprendimientos contrario al uso de fibras metálicas.
- La condición de usar fibras en Colombia sería muy recomendable para alargar la vida útil de los concretos que estén en zonas de variación térmica alta y con tendencia al incremento del tránsito.

## 11 BIBLIOGRAFÍA.

DÍAZ MARTÍNEZ, Faustino. “Análisis experimental de la contracción por secado en mezclas de concreto hidráulico”. Internet:

[http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lic/diaz\\_m\\_f/](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/diaz_m_f/)

EUCLID CHEMICAL. Synthetic macro fiber. Internet:

[http://www.euclidchemical.com/product\\_detail.asp?id=185&pselect=145](http://www.euclidchemical.com/product_detail.asp?id=185&pselect=145)

MARSON FRANCO, Bruno Luis. Maccaferri. I Reunión del concreto 2010. Aplicación de microfibras en concretos y morteros.

SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego. Tecnología del Concreto y del Mortero. Bogotá, D.C.: Bhandar Editores Ltda., 2001. 394 P.

SIKA. “Sika Informaciones técnicas – Concreto reforzado con fibras”. Internet:

<http://es.scribd.com/doc/63523105/SIKA-FIBRA>

Causas\_evaluacion\_reparacion

[https://www.inti.gob.ar/cirsoc/pdf/publicom/Causas\\_evaluacion\\_reparacion.pdf](https://www.inti.gob.ar/cirsoc/pdf/publicom/Causas_evaluacion_reparacion.pdf)

NATIONAL READY MIXED CONCRETE ASSOCIATION. El Concreto en la practica. ¿Qué, Porque y Comó? NMRCA .

Internet:<http://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP4es.pdf>

ASTM C1399/C1399M – 10 Standard Test Method for Obtaining Average Residual-Strength of Fiber-Reinforced Concrete.

EL PRESENTE Y FUTURO DE LA CONSTRUCCIÓN Publicación comercial libro Macrofibras –Pag. 7 - V.1 – empresa Abacol 2015 – Bogotá Colombia.

MARTIN ESTRADA MEJIA, Extracción y caracterización mecánica de las fibras de bambuú (guadua angustifolia) para su uso potencial como refuerzo de materiales compuestos – Tesis – Bogotá – 2010. Internet:

[http://www.docentes.unal.edu.co/mestradam/docs/tesisMEM\\_maestria.pdf](http://www.docentes.unal.edu.co/mestradam/docs/tesisMEM_maestria.pdf)



## **12 ANEXOS.**

